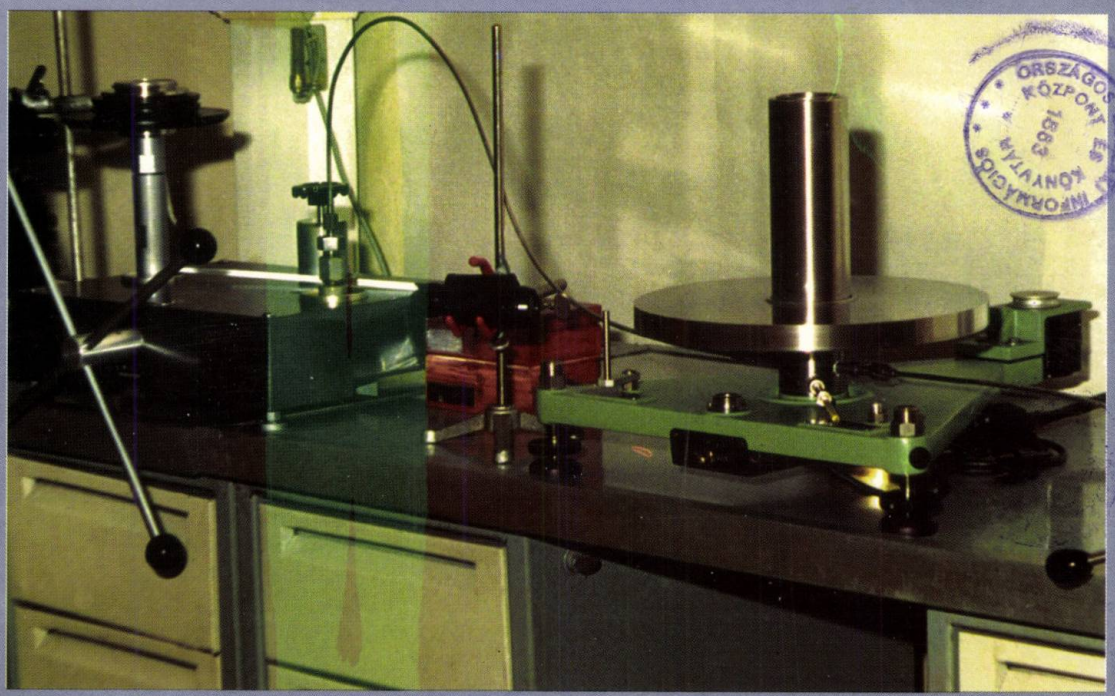
E8225 FF
8 000000 386656

# INM Nr 1/1997

# metrologie



ORSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONT ÉS KÖNYVTÁR 1683

## SUMMARY

*AUREL MILLEA* : Traceability: Requirements, Consequences, Effects ..... 2

*ADALBERT SZAKÁTS*: The Role of the Fundamental Physical Constants in Physics ..... 6

*IOAN FLORIN CREŢU*: System Metrology, a Domain of a Real Economical Importance ..... 13

*GHEORGHE TODORAN, ROMUL COPÂNDEAN, FLORIN DRĂGAN*: The Measurement of the Ratio of Two Vector Quantities ..... 17

*FĂNEL IACOBESCU*: On calibration and metrological verification of temperature transducers in the range 20 K....273 K ..... 24

**INFORMATION**

## SOMMAIRE

*AUREL MILLEA* : Traçabilité: éxigences, implications, effets ..... 2

*ADALBERT SZAKÁTS*: Le rôle des constantes physiques fondamentaux dans la métrologie ..... 6

*IOAN FLORIN CREŢU*: La métrologie de système, un domaine avec une réale importance economique ..... 13

*GHEORGHE TODORAN, ROMUL COPÂNDEAN, FLORIN DRĂGAN*: Le mesurage du rapport des deux grandeurs vectors ..... 17

*FĂNEL IACOBESCU*: Sur l'étalonnement et la vérification métrologique des capteurs de température dans l'interval 20 K...273 K ..... 24

**INFORMATIONS**

REDACŢIA

INSTITUTUL NAŢIONAL DE METROLOGIE

Şos. Vitan-Bârzeşti nr. 11, sector 4, tel. 6342060
şi 6344030/191; Bucureşti; 75669

ISSN 1200-546 X

EDIŢIE REALIZATĂ SUB ÎNGRIJIREA

**Editurii Tehnice**

Piaţa Presei Libere 1, sector 1, Bucureşti, cod poştal 71341,
tel. 222.66.30, fax 222.37.76

Cererile pentru abonamente vor fi adresate Editurii Tehnice, Biroul de comenzi şi desfacere,
Bucureşti, str. Oteteleşeanu nr. 1, sector 1, cod poştal 70702, tel. 615.88.66
cont virament 50.03.419.2553, Trezoreria sector 1.
Costul unui abonament anual este 22000 lei.

# METROLOGIE

ORSZÁGOS KÖZPONT 1883 KÖNYVTÁR INFORMÁCIÓS ÜGYOSZTÁLY

Publicaţie tehnico-ştiinţifică

editată de

INSTITUTUL NAŢIONAL DE METROLOGIE

## SUMAR

*AUREL MILLEA*:Trasabilitate: cerinţe, implicaţii, efecte ..... 2

*ADALBERT SZAKÁTS*: Rolul constantelor fizice fundamentale în metrologie ..... 6

*IOAN FLORIN CREŢU*: Metrologia de sistem, un domeniu de o reală importanţă economică ..... 13

*GHEORGHE TODORAN, ROMUL COPÎNDEANU, FLORIN DRĂGAN*: Măsurarea raportului a două mărimi fazoriale ..... 17

*FĂNEL IACOBESCU*: Cercetări privind etalonarea şi verificarea metrologică a traductoarelor de temperatură în intervalul 20 K ... 273 K ..... 24

**INFORMAŢII**

*
* *

**Colectivul de redacţie**: fiz. Dragoş Boiciuc, Viorica Burciu (*secretar de redacţie*), ing. chim. Mirela Buzoianu, ing. Gabriel Iordăchescu, fiz. Gheorghe Ispăşoiu, dr. ing. Aurel Millea (*redactor responsabil*), ing. Ionel Urdea.

# Trasabilitate: cerințe, implicații, efecte[1]

AUREL MILLEA[2]

**Abstract.** *To ensure traceability of measurements performed in a country, measures are to be taken at three levels: inside the calibration laboratories; on a national scale; on regional and international levels. Calibration laboratories must have adequate reference standards - included in an unbroken chain of traceability - and equipment, suitable internal procedures and competent personnel. Recognized national standards, and a system of calibration laboratory accreditation are necessary as a basis for achieving traceability on a national scale. National standards must be related to international ones or included in regional or international comparisons.*

**Résumé.** *Pour assurer la traçabilité des mesurages dans un pays, il faut actionner à trois niveaux: dans les laboratoires d'étalonnage; à l'échelle de l'entière pays; aux niveaux régional et international. Les laboratoires d'étalonnage doivent possèder d'étalons de référence adéquats - inclus dans une chaine continue de traçabilité - et d'appareillage, de procédures internes convenables et un personnel compétent. Des étalons nationaux reconnus et un système d'accreditation des laboratoires d'étalonnage sont nécéssaires pour réaliser la traçabilité au niveau national. Les étalons nationaux doivent être soumis aux comparaisons internationales.*

**Trasabilitate:** *Proprietate a rezultatului unei măsurări sau a valorii unui etalon de a putea fi raportate la referințe stabilite, de regulă etaloane naționale sau internaționale, prin intermediul unui lanț neîntrerupt de comparări având, toate, incertitudini determinate.*

[Vocabular internațional de termeni fundamentali și generali în metrologie, Standard Român SR 13251, ediția 1, 1995, corespunzător documentului VIM, ediția a 2-a, 1993]

Termenul *trasabilitate*[3], deşi relativ recent în vocabularul metrologiei româneşti, este utilizat azi curent în documente de naturi diverse - standarde, norme tehnice, proceduri, manuale de asigurare a calității etc. - datorită caracterului său sintetic şi precis. Prezența frecventă a acestui termen în literatura de specialitate străină a fost factorul determinant al introducerii sale în traducerile şi preluările româneşti, printre care şi standardul de terminologie [1] corespunzător vocabularului international editat de cele şapte organizații mondiale de primă competență în metrologie [2].

Considerăm utilă comentarea conceptului de trasabilitate în cele ce urmează, şi în special relevarea legăturilor cu alte concepte de bază ale metrologiei, cum sunt transmiterea unităților de măsură, ierarhizarea etaloanelor, incertitudine de etalonare.

[1] Lucrare prezentată la reuniunea IMEKO TC 11 "Infrastructuri metrologice", Budapesta, 13-14 mai 1996

[2] Director, Institutul Național de Metrologie

[3] În engleză: *traceability*, în franceză: *traçabilité*, în germană: *Rückverfolgbarkeit*

**Ce se înțelege prin trasabilitate ?**

Etalonarea unui mijloc de măsurare se efectuează prin comparație cu un etalon de referință, reprezentând cea mai bună "realizare" a unității de măsură respective la locul măsurării. În acest fel, în cadrul acestui "loc al măsurării" (care poate fi un atelier, un laborator, o întreprindere etc.) pot fi asigurate măsurări compatibile între ele. O asemenea soluție "locală" a problemei nu este însă satisfăcătoare; este necesar ca rezultatele măsurărilor să fie compatibile cu cele ale măsurărilor care se execută oriunde pe plan național sau mondial, raportate la etaloane internaționale sau acceptate la scară internațională, corespunzătoare definițiilor recunoscute ale unităților Sistemului Internațional de unități (SI).

Acest deziderat poate fi atins numai dacă etalonul de referință local este inclus într-un lanț neîntrerupt de comparații cu etaloane de rang mai înalt, până la etalonul primar, care este - la nivelul actual al științei și tehnologiei - cea mai exactă materializare a unității SI date. Prin aceasta se realizează *trasabilitatea* la etaloanele naționale și la cele internaționale.

Se pare că originea conceptului de trasabilitate se află în mai multe standarde militare americane (standarde MIL), care pretind ca orice măsurare efectuată în legătură cu activitățile armatei americane să fie trasabilă. Utilizarea largă a acestui concept în ultimul timp poate fi explicată prin aceea că "trasabilitatea" conferă probabil cea mai completă caracterizare a unei măsurări bune, incluzând ideea de compatibilitate cu definițiile SI, corelare cu alte măsurări similare și incertitudine de măsurare cunoscută.

**Cerințe principale**

Examinarea definiției de mai sus, precum și practica europeană în certificarea calității ne arată care sunt aspectele cele mai importante ale conceptului de trasabilitate a unui etalon "local".

(i) Etalonul trebuie să fie inclus într-un *lanț neîntrerupt de etalonări*. Cu alte cuvinte, este necesar să existe un sistem național de etalonări, permițând compararea pas-cu-pas a etaloanelor de diferite niveluri de exactitate, ajungându-se în final la etalonul național.

(ii) Toate etalonările în cadrul lanțului neîntrerupt trebuie să fie executate cu *incertitudini cunoscute*. Aceasta implică exprimarea incertitudinilor în același fel, iar evaluarea incertitudinilor trebuie făcută de persoane competente, conform unor proceduri general acceptate.

(iii) Este necesar ca trasabilitatea să fie demonstrată, prin certificate de etalonare adecvate, proceduri scrise și alte documente. Acest lucru este important pentru a se obține recunoașterea de către terțe părți, în conformitate cu principiul general al transparenței și încrederii reciproce care guvernează sistemele moderne de asigurare a calității.

**Lanț de trasabilitate**

Lanțul neîntrerupt de comparații, la care se face referire în definiția trasabilității, se numește *lanț de trasabilitate*. El include seria de etalonări necesare raportării la etaloanele de referință - naționale sau internaționale - privite "de jos în sus", adică de la măsurarea sau etalonul considerat spre etaloanele de referință.

În viziunea tradițională a metrologiei, este uzuală noțiunea de *lanț de transmitere a unității*, cu semnificația de succesiune a etaloanelor de diferite ordine, de la etalonul național la etaloane secundare, până la mijlocul de măsurare de lucru considerat. În acest sens, lanțul de transmitere a unității nu este aparent altceva decât un lanț de trasabilitate privit invers, "de sus în jos".

Cu toate acestea, trasabilitatea și transmiterea unității de măsură constituie concepte diferite; ele ar putea fi privite de fapt ca o pereche de noțiuni complementare. Chiar dacă acestea conțin operații metrologice similare - succesiuni de comparații - ele diferă prin unghiul din care sunt văzute: trasabilitatea caracterizează ultima verigă a lanțului, pe când transmiterea unității pornește de la vârful "piramidei", este o prelungire a acesteia. Trasabilitatea este o *cerință* a executantului sau a beneficiarului măsurării, iar transmiterea unității constituie un ansamblu de *acțiuni* în cadrul unui sistem de asigurare metrologică. *Trasabilitatea se realizează în practică prin transmiterea unităților de măsură.*

**Trasabilitate și "raport de incertitudini"**

Lanțul de trasabilitate cuprinde o serie de comparații cu etaloane de exactitate din ce în ce mai ridicată. La fiecare din aceste comparații incertitudinea valorii etalonului de referință trebuie să fie sensibil mai mică decât incertitudinea valorii care se atribuie obiectului etalonat. Raportul celor două incertitudini - numit uneori și "rezervă de exactitate" - este o caracteristică esențială a operației de etalonare. Nu se poate vorbi despre trasabilitate dacă această caracteristică nu este cunoscută pentru fiecare treaptă a lanțului de trasabilitate. Ea este fundamentală pentru demonstrarea

trasabilității şi numai pe baza ei declarațiile privitoare la trasabilitate pot fi credibile.

Acestea sunt motivele principale pentru care în ultimele două decenii a existat o preocupare susținută pe plan mondial pentru clarificarea unor concepte de bază ale teoriei incertitudinii de măsurare şi pentru unificarea modului de evaluare şi de exprimare a acesteia. Cel mai semnificativ rezultat al acestor preocupări îl constituie elaborarea ghidului privind incertitudinile de măsurare şi editarea acestuia sub girul celor mai importante organizații internaționale în domeniul măsurărilor [3]. Apariția acestui ghid a contribuit în cea mai mare măsură la fundamentarea şi la obiectivizarea conceptului de trasabilitate.

### Trasabilitate "națională" şi trasabilitate "internațională"

(*a*) Trasabilitatea "națională" poate fi asigurată printr-o rețea metrologică internă bazată pe scheme de ierarhizare a etaloanelor (scheme de "transmitere a unităților de măsură") şi un program sistematic de etalonări periodice ale acestor etaloane. Referința finală este în acest caz etalonul național al unei unități de măsură date.

Două aspecte trebuie subliniate în acest context.

– În interiorul unei organizații date (laborator, întreprindere, institut) trebuie să existe un număr anumit de etaloane de referință, astfel ca *toate* aparatele de măsurat utilizate în respectiva organizație să poată fi raportate - direct sau indirect - la acele etaloane, prin etalonări convenabile executate după proceduri şi cu o periodicitate adecvate.

– La scară națională, etaloanele de referință ale organizațiilor interesate trebuie supuse unor etalonări periodice, efectuate în laboratoare de capabilitate dovedită. Acreditarea laboratoarelor de etalonare, de către un organism de acreditare recunoscut, este soluția cea mai bună pentru a conferi încrederea necesară acestor etalonări.

(*b*) Trasabilitate "internațională" înseamnă, în principiu, ca etaloanele naționale ale diferitelor țări să fie raportate, prin etalonări, la etaloanele internaționale ale BIPM (Biroul Internațional de Măsuri şi Greutăți). Prin aceasta se asigură uniformitatea măsurărilor pe plan mondial, făcând compatibile între ele toate sistemele naționale de etalonare.

Din păcate, problema nu este atât de simplă cum pare la prima vedere. BIPM deține doar un număr redus de etaloane de bază, strict necesare pentru reproducerea sau menținerea unităților fundamentale SI. Un număr mare de unități derivate nu au etaloane internaționale corespunzătoare, sau alte etaloane recunoscute ca referință internațională în domeniul respectiv. În principiu, fiecare țară ar putea reproduce ea însăşi unitățile derivate SI, conform definițiilor lor, pornind de la unitățile fundamentale, şi ar putea etalona etaloanele acelor unități derivate în funcție de etaloanele proprii ale unităților fundamentale, făcute în prealabil trasabile la etaloanele BIPM prin comparații adecvate. Practica a arătat însă că numai un număr mic de institute naționale de metrologie sunt capabile să realizeze acest lucru, datorită complexității experimentelor necesare şi costului ridicat al echipamentului necesar.

Pe scurt, trasabilitatea "națională" constituie un obiectiv al fiecărei țări şi se realizează prin eforturi proprii, pe când trasabilitatea "internațională" reclamă acțiuni concertate ale unor comunități regionale şi mondiale.

### Trasabilitatea în sistemele de asigurare a calității

Standardele internaționale din seria ISO 9000, ca şi standardele europene EN 45 000 şi alte reglementări în domeniul încercării şi certificării calității, prevăd ca laboratoarele de încercare să asigure trasabilitatea necesară şi să aibă toate mijloacele de măsurare etalonate de către laboratoare de etalonare acreditate. Trasabilitatea în laboratoarele de etalonare implică mai multe condiții specifice, cum sunt: existența unor etaloane de referință adecvate, etalonarea lor în laboratoare aparținând sistemului național de etalonare, respectarea unei periodicități judicios stabilite a reetalonărilor, proceduri de etalonare documentate şi recunoscute etc.

### Situații în care trasabilitatea este dificil de demonstrat

După cum s-a menționat anterior, anumite tipuri de etaloane şi de măsurări nu sunt trasabile în mod simplu şi direct la etaloane naționale sau internaționale. Aceasta se întâmplă în cazul unor mărimi SI derivate, al unor parametri diverşi ai sistemelor şi produselor industriale, al unei varietăți de proprietăți fizico-chimice ale materialelor etc.

În asemenea cazuri, este necesar să se găsească alte căi de evidențiere a trasabilității, de obicei prin participare la programe convenabile de comparații interlaboratoare, sau prin executarea unor teste de confirmare asupra etaloanelor/obiectelor/mostrelor furnizate de organisme externe recunoscute.

În general, participarea la comparaţiile interlaboratoare de etaloane este în multe cazuri calea cea mai la îndemână şi mai eficientă pentru stabilirea trasabilităţii, atât pe plan naţional cât mai ales pe plan internaţional. În ultimul timp se organizează un mare număr de comparaţii interlaboratoare de către organizaţii regionale şi mondiale, de către organisme naţionale sau asociaţii, dar şi de către firme particulare (un exemplu este comparaţia anuală de mostre de vâscozitate coordonată de o firmă americană, la care participă peste 40 de laboratoare din întreaga lume).

### Rolul organizaţiilor regionale de metrologie

Este recunoscut faptul că orice formă de cooperare între organizaţiile naţionale de metrologie poate contribui mult la facilitarea trasabilităţii la etaloanele internaţionale. În prezent activează mai multe organisme regionale de cooperare în metrologie (EUROMET şi WELMEC în Europa occidentală, COOMET în Europa centrală şi de est, NORAMET în America de nord, Programul de Metrologie Asia-Pacific şi altele). Apropierea teritorială a membrilor acestor organizaţii permite un acces mai uşor şi mai puţin costisitor la un set de etaloane de referinţă, care la rândul lor pot fi făcute direct trasabile la etaloanele internaţionale. De asemenea, organizaţiile regionale de cooperare pot organiza periodic intercomparări de etaloane, de care beneficiază toţi participanţii.

Prin urmare, cooperările regionale de metrologie acţionează ca o treaptă intermediară între ţările membre şi BIPM, asigurând accesul indirect la etaloanele internaţionale chiar şi pentru statele care nu sunt membre ale Convenţiei Metrului. Pe de altă parte, organizaţiile regionale pot fi deosebit de benefice în general pentru orice stat în curs de dezvoltare, oferind acestora oportunitatea etalonării oricărui etalon de referinţă şi incluzându-i astfel într-un lanţ direct de trasabilitate.

Cooperările regionale de metrologie includ totdeauna şi cel puţin un partener cu nivel înalt de dezvoltare a metrologiei, ceea ce face şi mai profitabilă participarea membrilor cu un nivel de dezvoltare mai scăzut.

### Câte comparaţii sunt necesare pentru a asigura trasabilitatea ?

Deşi în ultima vreme s-a vorbit foarte mult despre trasabilitate, una din probleme cheie ale acesteia nu a primit încă un răspuns satisfăcător: care sunt acele etaloane (pentru ce mărimi fizice, game de valori şi alţi parametri) care trebuie etalonate de către un organism exterior pentru a se asigura trasabilitatea unui laborator, într-un anumit domeniu de măsurări ?

Să presupunem că un anumit laborator doreşte să dobândească trasabilitate în domeniul mărimilor electrice şi în acest scop trimite unui institut naţional de metrologie un număr de etaloane de tensiune continuă, rezistenţă, tensiune alternativă, capacitate şi inductanţă. Nu există în prezent reguli sau recomandări cu privire la numărul necesar de etaloane (de exemplu, valori ale tensiunilor, rezistoare de numai 1 Ω sau mai multe valori multiple / submultiple etc.) care vor garanta trasabilitatea tuturor măsurărilor pe care le execută laboratorul.

Subiectul este în studiu de către organisme competente şi se fac încercări pentru elaborarea unei soluţii adecvate. Totuşi, deocamdată problema rămâne deschisă, iar deciziile necesare în cazuri concrete sunt de obicei luate pe baza aprecierii şi experienţei specialiştilor participanţi la evaluarea laboratorului.

### Concluzii

Pentru a se asigura trasabilitatea măsurărilor care se efectuează într-o ţară, sunt necesare măsuri la trei niveluri: în interiorul laboratoarelor de etalonare, la scară naţională şi la nivel regional sau internaţional.

(i) Laboratoarele de etalonare trebuie să dispună de etaloane de referinţă - incluse într-un lanţ neîntrerupt de trasabilitate - şi echipament adecvate, de proceduri corespunzătoare de etalonare şi de personal calificat.

(ii) Ca o bază a trasabilităţii la nivel naţional, sunt necesare etaloane naţionale recunoscute, precum şi un sistem de acreditare a laboratoarelor de etalonare.

(iii) Etaloanele naţionale trebuie raportate la etaloane internaţionale sau incluse în comparaţii regionale sau internaţionale.

*REFERINŢE*

[1] Vocabular internaţional de termeni fundamentali şi generali în metrologie, Standard Român SR 13251, ediţia a 1-a, 1995

[2] Vocabulaire International de Métrologie (VIM), ediţia a 2-a, 1993 (ISO, OIML, BIPM, CEI)

[3] Guide to the expression of measurement uncertainty, 1993 (ISO, OIML, BIPM, CEI, IUPAP, IUPAC, IFCC)

# Rolul constantelor fizice fundamentale în metrologie

*ADALBERT SZAKÁTS**

**Abstract:** *The paper tries to explain the reasons for the recent interest in the more and more accurate determining of the fundamental physical constants in general and particularly relative to their use in metrology.*

**Résumé:** *L'article essaye à expliquer les raisons des préocupations pour la detérmination la plus exacte possible des constantes physiques fondamentaux en génal et particulièrement par rapport à leur utilisation dans la métrologie.*

## Introducere

Lucrarea îşi propune să explice care sunt raţiunile preocupărilor recente pentru determinarea cât mai precisă a constantelor fizice fundamentale (*CFF*) în general, şi în particular în raport cu utilizarea lor în metrologie.

Toate lucrurile ce ne înconjoară posedă proprietăţi caracteristice, datorită anumitor însuşiri invariante ale structurii Universului. Acestea se numesc constante naturale, sau *CFF*.

În metrologie prezintă interes un mare număr de *CFF*, în general dimensionale, care intervin în diferitele ecuaţii ale fizicii. Datorită independenţei lor de proprietăţi de material, de condiţii de mediu, de loc şi de timp, au căpătat denumirea de *CFF* [1].

Anumite valori numerice caracterizează de exemplu forţa atracţiei universale, masele particulelor elementare din care se compune materia, forţa interacţiunilor electrice şi magnetice, viteza de propagare a luminii în vid etc. Dintre acestea se numesc **fundamentale** acele constante care nu pot fi exprimate în funcţie de alte constante naturale. Majoritatea acestor valori poate fi determinată pe baza unor determinări experimentale adecvate.

Valorile acestor constante deosebesc Universul nostru de alte Universuri, ce se pot imagina ca fiind guvernate de legile fizicii cunoscute la ora actuală. Deşi aceste constante apar în fiecare lege a naturii, ele constituie totodată cea mai mare enigmă a structurii Universului: Oare *de ce* au ele tocmai aceste valori numerice, şi nu altele? Visul fizicienilor din toate timpurile a fost să găsească aceea teorie atotcuprinzătoare, care poate prezice sau explica valorile *CFF*. Drept exemplu poate fi dată activitatea lui *P.A.M. Dirac* [2]. Încercările cele mai recente, care au avut ca scop descrierea cuanto-mecanică a stării iniţiale a Universului, au oferit posibilităţi nebănuite pentru explicarea valorilor numerice ale *CFF*. Pentru prima oară *J. Hartle* şi *S. Hawking* [3] au fost aceia care au încercat să scrie *funcţia de undă a Universului*. Ideea de bază a cercetărilor lor a fost aceea că în faza în care densitatea Universului a avut valori extrem de mari, imediat după "Big Bang", încât incertitudinile cuantice au jucat un rol dominant, Universul s-a comportat ca o sferă cuadridimensională. Mai târziu, câţiva cosmologi au început să se întrebe ce ar fi fost dacă suprafaţa acestei sfere nu ar fi fost perfect netedă. Să presupunem, de pildă, că diferitele porţiuni ale suprafeţei ar fi legate prin nişte "ţevi". Aceste legături sub formă de ţevi au fost denumite "găuri de vierme". Găurile de vierme leagă regiuni ale spaţiu-timpului, care altfel ar fi inaccesibile una pentru cealaltă. Propunerea aceasta de complicare a modelului de Univers este fundamentată, pe considerentul că starea spaţiu-timpului la nivelul scării Planck (vezi mai jos) semăna cu o "spumă" turbulentă dominată de incertitudinile cuantice. Prezenţa găurilor de vierme este consecinţa probabilă a stărilor spaţiului legate haotic. Diametrul lor în Universul timpuriu era de ordinul lungimii Planck (vezi mai jos). Este posibil ca valoarea *CFF* în regiunile întinse ale Universului să fie determinată de reţeaua fluctuantă a găurilor de vierme legate de regiunea respectivă. Deoarece legăturile prin găuri de vierme posedă toate caracteristicile de incertitudine cuantică, *CFF* nu pot fi determinate din teorie exact, ci numai statistic. Rezultatele obţinute de *S. Coleman* în 1988, în legătură cu valoarea constantei cosmologice, sunt exemple remarcabile pentru asemenea cercetări.

## CFF şi mărimile fizice

Prin *mărime* se înţelege o proprietate a obiectelor, fenomenelor sau sistemelor care poate fi deosebită calitativ şi determinată cantitativ. *Metrologia* operează în mod obişnuit cu *mărimi fizice*, care descriu proprietăţile fizice ale obiectelor, fenomenelor sau sistemelor. Descrierea fenomenelor fizice se face prin legi şi teoreme, în care figurează mărimi fizice.

* Asociaţia Ecumenică a Bisericilor din România – AID Rom.

Ele se prezintă sub forma unor ecuaţii cu mărimi [1], cum ar fi legea atracţiei gravitaţionale

$$F_{grav.} = f\frac{mM}{r^2} \qquad (1)$$

care se enunţă astfel: forţa de atracţie gravitaţională între două corpuri de mase $m$ şi $M$ este direct proporţională cu masele corpurilor şi invers proporţională cu pătratul distanţei dintre cele două corpuri. În formula (1), $F_{grav.}$ reprezintă o forţă, $m$ şi $M$ sunt mase, $r$ este distanţă (o lungime), toate acestea fiind mărimi fizice. Constanta de proporţionalitate (care evident caracterizează forţa atracţiei gravitaţionale) notată în formulă cu $f$ este o *CFF*. Dimensiunile ei se pot determina din (1)

$$\frac{f}{\{f\}} = M^{-1}L^3T^{-2} \qquad (2)$$

Această *CFF* intrând în componenţa unei ecuaţii cu mărimi fizice este şi ea o mărime fizică. Atâta timp cât mecanismul atracţiei universale se tratează ca un fenomen fizic fundamental, valoarea lui $f$ nu poate fi determinată decât pe baza experienţei (experienţa lui Cavendish de pildă). Există o întreagă clasă a *CFF* ce caracterizează diferitele forţe de interacţiune în Univers. Pentru a putea compara magnitudinile relative ale acestor forţe este utilă folosirea unor *CFF* adimensionale.

Interacţiunea cea mai slabă (de magnitudine minimă cunoscută la ora actuală) este cea gravitaţională. Ea caracterizează Universul la scară mare şi de asemenea devine extrem de importantă în condiţiile colapsului gravitaţional.

Un alt tip de interacţiune bine cunoscută este cea electromagnetică. Componenta ei electrostatică este descrisă de legea lui Coulomb, de formă asemănătoare legii atracţiei universale. Între sarcinile $q$ şi $Q$ se exercită forţa de atracţie (dacă sarcinile sunt de semn contrar) sau de respingere (dacă sarcinile sunt de acelaşi semn) dată de formula (3) foarte asemănătoare ca formă cu (1)

$$F_{el.} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qQ}{r^2} \qquad (3)$$

Formulele (1) şi (3) se aplică direct pentru scrierea forţelor ce apar între doi electroni datorită interacţiunii gravitaţionale $F^e_{grav.}$ respectiv $F^e_{el.}$

$$F^e_{grav.} = f\frac{m_e^2}{r^2}\ ;\ F^e_{el.} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} \qquad (4)$$

*CFF* adimensională legată de interacţiunea electromagnetică este constanta structurii fine, $a$, definită de formula

$$a = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar c} \qquad (5)$$

Valoarea recomandată în urma ajustării făcute de grupul CODATA în 1986 [4] pentru această *CFF* este: $a = 7{,}29735308(33) \times 10^{-3}$. /Cifrele puse în paranteză reprezintă abaterea standard în ultimele cifre semnificative şi exprimă incertitudinea./

Raportul $F^e_{grav.}/F^e_{el.} = \delta$ este deci o *CFF* care se leagă de magnitudinea interacţiunii gravitaţionale şi nu are dimensiuni. Expresia ei este dată de formula

$$\delta = \frac{4\pi\varepsilon_0 f m_e^2}{e^2} \qquad (6)$$

Ţinând cont de expresia constantei structurii fine se poate pune: $\delta = fm_e^2/ahc$. Dacă se folosesc valorile recomandate în [4] adică $f = 6{,}67259(85) \times 10^{-11}\,m^3kg^{-1}s^{-2}$; $m_e = 9{,}1093897(54) \times 10^{-31}$ kg; $h = 1{,}05457266(63) \times 10^{-4}$ Js; $c = 299792458$ $ms^{-1}$ se obţine valoarea $\delta = 2{,}3999955288 \times 10^{-43}$ (incertitudinile s-au neglijat în acest calcul numeric).

Interacţiunea gravitaţională şi cea electromagnetică sunt interacţiuni de rază de acţiune lungă (de fapt infinită). La ora actuală se cunosc alte două tipuri de interacţiuni, de rază scurtă, interacţiunea slabă şi interacţiunea tare, interacţiuni ce se manifestă la nivel sub-nuclear.

Procesul de dezintegrare a neutronului (dezintegrarea beta) este un proces guvernat în principal de forţele interacţiunii slabe. În teoria Fermi a dezintegrării beta densitatea de Hamiltonian de interacţiune pentru sistemul neutron, proton, electron, antineutrino electronic are forma:

$$\hat{\mathscr{H}}^0_k = \frac{F}{\sqrt{2}}\left(\hat{\bar{\Psi}}_p\gamma_p(1+\lambda\gamma_s)\hat{\Psi}_n\right)\left(\hat{\bar{\Psi}}_e\gamma_p(1+\gamma_s)\hat{\Psi}_{\tilde{\nu}_e}\right) \qquad (7)$$

În (7) constanta $F$ (constanta lui Fermi) se leagă de forţa interacţiunii slabe, iar constanta $\lambda$ de influenţa interacţiunii electromagnetice. Din formula (7) se deduc imediat dimensiunile constantei $F$. Cum porţiunea ce conţine operatorii de câmp are dimensiunea volumului la puterea *-2 x* timpul la puterea *-1*, iar întreaga expresie reprezintă o densitate de energie cuadridimensională, $\lambda$ trebuie să fie adimensională iar $F$ să aibă dimensiunea *energie x volum*. Din examinarea corelaţiilor direcţionale între spinul neutronului ce se dezintegrează şi direcţia de emisie a antineutrinoului electronic emis se poate determina parametrul $\lambda$, iar apoi din probabilitatea de dezintegrare pe unitate de timp a neutronului valoarea constantei Fermi, $F$. Determinările experimentale duc la valorile $\lambda = 1{,}18$ şi

$F = 1{,}43 \times 10^{-62}\,\mathrm{Jm}^3$. *CFF* adimensională corespunzătoare interacţiunii slabe se defineşte cu ajutorul următoarei expresii:

$$\gamma = \frac{F\, m_e^{\,2} c}{\hbar^3} \,. \qquad (8)$$

Pe baza valorilor numerice recomandate de [4] se obţine valoarea numerică $\gamma = 3{,}0332330520 \times 10^{-12}$ dacă se neglijează incertitudinile datelor de intrare ale calculului.

Cea mai puternică interacţiune cunoscută în prezent este interacţiunea tare, responsabilă pentru ţinerea împreună a nucleonilor în nucleul atomic. *CFF* adimensională legată de această interacţiune este dată de raportul maselor protonului şi electronului,

$$b = \frac{m_p}{m_e} \,. \qquad (9)$$

Folosind datele recomandării [4] (conform căreia $m_p = 1{,}6726231(10) \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$) găsim $\beta = 1836{,}1527557$ dacă facem abstracţie de incertitudinile în masele protonului şi electronului.

În concluzie: există 4 *CFF* adimensionale care caracterizează cele patru tipuri de interacţiune existente în natură:

$\delta = 2{,}3999955288 \times 10^{-43}$ (interacţiunea gravitaţională)

$\gamma = 3{,}0332330520 \times 10^{-12}$ (interacţiunea slabă)

$\alpha = 7{,}29735308(33) \times 10^{-3}$ (interacţiunea electromagnetică)

$\beta = 1{,}8361527557 \times 10^{3}$ (interacţiunea tare).

*CFF* dimensionale cu ajutorul cărora s-au putut calcula cele patru caracteristici ale forţelor din natură sunt deci:

$f$ – constanta Cavendish a atracţiei universale
$\varepsilon_0$ – permitivitatea vidului
$m_e$ – masa electronului
$c$ – viteza luminii în vid
$m_p$ – masa protonului
$h$ – constanta lui Planck.

Teoria cuantică a câmpurilor explică interacţiunile pe baza unui mecanism de schimb de particule virtuale. Această tratare a oferit posibilitatea elaborării unei imagini unitare despre forţele din natură. În acelaşi timp, prin această abordare se pot evidenţia mai bine şi aspectele prin care diferă forţele responsabile pentru cele 4 tipuri de interacţiuni. Interacţiunea electromagnetică este mijlocită de fotonii de masă de repaus nulă, de aceea raza de acţiune a acestui tip de interacţiune este infinită. Interacţia gravitaţională (de rază de acţiune de asemenea infinită) probabil este mijlocită de schimbul de gravitoni, de masă de repaus nulă şi cu numărul cuantic de spin egal cu 2. Componentele nucleului atomic, nucleonii, sunt legaţi prin forţele nucleare, de rază scurtă de acţiune ($\approx 10^{-15}$ m). Forţele nucleare sunt o manifestare blândă a forţelor de interacţiune tare şi se explică prin schimbul de pioni virtuali. Aşa cum s-a văzut mai înainte, dezintegrarea neutronului (dezintegrarea beta) aparţine categoriei de interacţiune slabă. Se presupune că un grup de interacţiuni slabe are loc prin schimbul bozonilor vectoriali $W$ de spin 1. Pe baza acestei teorii s-a reuşit elaborarea teoriei unificate a interacţiunilor electromagnetice şi slabe.

În afară de forţe (purtate de particule virtuale de spin întreg /bozoni/) Universul material mai conţine substanţă (alcătuită din particule de spin semiîntreg /fermioni/). Particulele capabile de interacţie tare se numesc hadroni. Particulele ce interacţionează slab se numesc leptoni. Proprietăţile particulelor ce alcătuiesc substanţa se caracterizează prin *CFF atomice*.

**CFF şi unităţile de măsură**

Există numai patru unităţi în fizică ce determină scara tuturor fenomenelor măsurabile: scara lungimilor, $l$, scara timpului, $t$, scara maselor $m$, şi scara sarcinii $q$. Deoarece orice sarcină din natură este un multiplu al sarcinii electronului, $e$, $q = n\,e$, ultima unitate se poate reduce la un simplu număr. Nu există teorii fundamentale şi general acceptate despre o lungime fundamentală $l_0$, timp fundamental $t_0$, şi masă fundamentală $m_0$; cea din urmă este sigur o mărime neaditivă. De aceea suntem nevoiţi să **conservăm** aceste trei unităţi şi să stabilim nişte **etaloane** pentru ele. Pentru definirea scării se pot utiliza *CFF* în locul **etaloanelor-artefact** (construite artificial) ca metrul, secunda şi kilogramul. Trebuie să alegem trei mărimi ca fiind *necalculabile* iar apoi putem încerca să măsurăm şi să calculăm totul în raport cu aceste mărimi, care pot fi egalate cu unitatea.

Un astfel de sistem de unităţi se bazează pe electron, poate particula cea mai de bază, probabil absolut stabilă. Putem alege, de asemenea, drept necalculabilă masa electronului, $m_e$ şi din teoria relativităţii speciale viteza de propagare a luminii, $c$ şi să punem

$$m_e = 1\,;\; c = 1\,;\; \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0} = 1\,. \qquad (10)$$

Sistemul de unităţi (10) se bazează pe mărimi "clasice" şi este diferit de cel folosit de obicei în fizica particulelor elementare, pentru care: $c = h = 1$, aşa numitele unităţi "relativiste".

Un alt sistem de unităţi se bazează pe presupunerea că $c$, $h$ şi $f$ sunt necalculabile, fundamentale şi invariante:

$$f = 1 \; ; \; c = 1 \; ; \; \hbar = 1. \qquad (11)$$

În acest sistem scara de lungime, scara de timp şi scara de masă sunt pe rând:

$$l_p = \sqrt{\frac{f\hbar}{c^3}} \; ; \; t_p = \sqrt{\frac{f\hbar}{c^5}} \; ; \; m_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{f}} \; . \qquad (12)$$

Într-adevăr deoarece:

$$f \Leftrightarrow M^{-1} L^3 T^{-2}$$
$$c \Leftrightarrow L\, T^{-1} \qquad (13)$$
$$\hbar \Leftrightarrow M\, L^2 T^{-1}$$

de unde, logaritmând (13), se obţine un sistem liniar format din trei "ecuaţii" de următoarea formă:

$$\ln f \Leftrightarrow -\ln M + 3 \ln L - 2 \ln T$$
$$\ln c \Leftrightarrow \ln L - \ln T \, . \qquad (14)$$
$$\ln \hbar \Leftrightarrow \ln M + 2 \ln L - \ln T$$

Adunând prima şi cea de-a treia ecuaţie din (14) se obţine

$$\ln f + \ln \hbar \Leftrightarrow 5 \ln L - 3 \ln T \, . \qquad (15)$$

Scăzând acum triplul ecuaţiei a doua din (14) din (15) găsim

$$\ln f - 3 \ln c + \ln \hbar \Leftrightarrow 2 \ln L \qquad (16)$$

adică

$$\ln L^2 \Leftrightarrow \ln f + \ln \hbar - \ln c^3 \qquad (17)$$

sau

$$\ln L^2 \Leftrightarrow \ln \left\{ \frac{f\hbar}{c^3} \right\} \qquad (18)$$

de unde prima egalitate din (12) rezultă imediat. Analog se deduc şi celelalte două egalităţi. Unităţile de lungime, timp şi masă definite de (12) se numesc unităţi Planck.

Valorile numerice recomandate în [4] duc la

$$l_p = 1{,}616048609 \times 10^{-35} \text{ m}$$
$$t_p = 5{,}39055792 \times 10^{-44} \text{ s} \qquad (19)$$
$$m_p = 2{,}176714074 \times 10^{-8} \text{ kg}$$

(s-au neglijat incertitudinile cu care se cunosc datele pe baza cărora se face calculul).

Unităţile (19) sunt funcţii de *CFF* $(h, c, f)$. Împreună cu *CFF* reprezentată de sarcina electronului, $(e)$, ele oferă un sistem natural de unităţi, nişte *etaloane stabile şi reproductibile oriunde şi oricând*, deoarece *CFF* pot fi considerate invariante în regiunea spaţio-temporală destul de întinsă a Universului ce ne înconjoară [5]. *Cohen* exprimă concluziile studiului cu privire la variabilitatea *CFF* cu următoarele cuvinte:

"Deşi cunoştinţele noastre cu privire la valorile *CFF* sunt îngrijorător de variabile, nu există nici o dovadă (fie directă, bazată pe experienţe de laborator, fie indirectă, rezultată din interpretarea datelor geologice sau astronomice) că *CFF* nu ar fi rămas constante pe durata unei perioade foarte lungi a istoriei Universului (începând din momentul nucleosintezei). Cu toate că pe baza datelor experimentale sau observaţionale în prezent nu se pot spune multe despre prima jumătate de oră a Creaţiei, se pare totuşi că nu este probabilă o variaţie atât de accentuată ca cea liniară. Acest lucru nu exclude însă complet posibilitatea unor variaţii neliniare. Dacă valorile *CFF* se dovedesc a fi corelate cu densitatea materiei în Univers, sau cu curbura medie a spaţiului, atunci valorile observate ale *CFF* nu spun prea mult despre o variaţie ce putea să aibă loc în perioade timpurii, rezultând, posibil, într-o 'dezintegrare' exponenţială spre valori asimptotice. Această idee a fost analizată mai complet de către *Bekenstein* (1982) [6] în funcţie de o lungime caracteristică, mai mare decât lungimea Planck ($l_p$), dar mai mică decât dimensiunile nucleare (» $10^{-15}$ m), precum şi de *Marciano* (1984) [7] respectiv *Kolb* şi colaboratorii [8], care discută despre cosmologii în care valorile *CFF* depind de mărimea spaţiului 'extradimensiunilor' din modele de superstring 10 dimensionale.

Evident, *determinarea valorilor CFF până la precizia maximă posibilă va continua să fie de mare importanţă nu numai pentru scopuri metrologice, ci şi pentru alte ramuri ale fizicii*, iscodind literalmente cele mai îndepărtate colţuri ale Universului."

### CFF şi unităţile SI

Deşi în ipoteza cunoaşterii precise a valorilor *CFF* ele oferă nişte sisteme de unităţi naturale ideale, aceste sisteme nu sunt practice. Dacă de pildă pentru măsurarea lungimii s-ar folosi în practică lungimea Planck, ar trebui lucrat cu cifre astronomice pentru exprimarea unor lungimi obişnuite. Totuşi, *CFF* au o legătură şi cu sistemele de unităţi practice. Experienţele ce reproduc unităţile SI se leagă direct de două din aceste constante:

$c$ – viteza de propagare a undelor electromagnetice în vid

$m_0$ – permeabilitatea vidului.

Într-adevăr, deoarece inducţia unui conductor-dreaptă (de lungime infinită şi secţiune nulă) în punctul $P$ la distanţa $R$ de conductor este dată de formula (20)

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \qquad (20)$$

iar forţa cu care inducţia magnetică $B$ acţionează asupra unui conductor-segment de lungime $l$ prin care

curge un curent de intensitate $I$ este la rândul ei exprimată de formula (21)

$$F = BIl \qquad (21)$$

rezultă formula de definiție a amperului, unitatea SI a intensității curentului electric (Fig.1):

$$F_m = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi R} \qquad (22)$$

Definiția amperului (unitatea SI pentru intensitatea curentului electric - A) se bazează pe această forță exercitată între conductori - drepte. Conform definiției, dacă

$$I_1 = I_2 = 1 \text{ A} \qquad (23)$$

şi

$$l = 1 \text{ m} \qquad (24)$$

atunci

$$F_m = 2 \text{ x } 10^{-7} \text{ N}. \qquad (25)$$

Această *definiție* fixează ***exact*** valoarea numerică în SI pentru

$$[\mu_0] = (1/4p) \text{ x } 10^{-7} . \qquad (26)$$

Dacă unitatea de lungime SI - metrul (m) - se *definește* ca distanța parcursă în vid de lumină pe durata a $[l/c]$ secunde, această definție a metrului fixează ***exact***

$$[c] = 299792458 \text{ în SI} . \qquad (27)$$

Prin urmare, datorită definițiilor SI ale unităților intensității de curent electric şi lungimii, două dintre *CFF* au o ***precizie absolută*** în acest sistem de unități.

Conceptul de bază al SI se sprijină pe alegerea unor anumite **unități fundamentale**, celelalte unități fiind derivate din unitățile fundamentale cu ajutorul ecuațiilor fizicii. Există însă o ambiguitate în

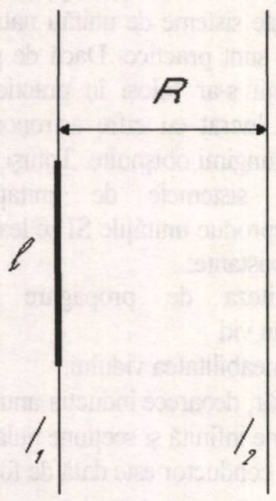



Fig. 1

alegerea ecuațiilor folosite pentru exprimarea unităților derivate utilizate în practică în funcție de unitățile fundamentale. Această ambiguitate ar putea fi evitată, dacă rezultatele măsurărilor de înaltă precizie, pe care se bazează metrologia în prezent, ar fi exprimate în funcție de unitățile păstrate în laborator, prin verigile unui proces de calibrare/etalonare [9].

Trebuie accentuat că valoarea (magnitudinea) unității teoretice (SI) derivate nu depinde de ecuația folosită pentru definirea ei în funcție de unitățile fundamentale. Ecuația poate descrie o lege teoretică generală a fizicii sau un fenomen specific.

Elnekave [10] a descris structura sistemului SI ca fiind bazată pe introducerea succesivă a unităților SI utilizate în diferitele discipline ale fizicii: 1) planimetrie; 2) cinematică; 3) dinamică; şi 4) electrodinamică. Aceasta duce la următoarea secvență de subgrupuri:

(m); (m, s); (m, s, kg); şi (m, s, kg, A)

pentru grupul (matematic) definit de unitățile SI. Grupul acesta este un grup abelian [11]. Adăugarea fiecărui generator nou, pentru a produce subgrupurile enumerate mai sus, echivalează cu introducerea unei noi unități SI.

În practică, magnitudinea unității introduse se definește atribuind o valoare numerică unei cantități fixate de mărime fizică corespunzătoare, ce poate fi o *CFF*.

Pentru definirea magnitudinilor unităților introduse (sau ale generatorilor) în subgrupurile enumerate mai înainte se folosesc două *CFF*, şi anume: viteza de propagare a radiației electromagnetice în spațiul liber, $c$, şi permeabilitatea magnetică a vidului, $\mu_0$. Astfel, atribuirea unei valori numerice $\{\mu_0\}$ lui $\mu_0$ definește magnitudinea amperului

$$1 \text{ A} = [(\{\mu_0\}/\mu_0) \text{ 1N}]^{1/2} \qquad (28)$$

/cf. (23) - (26)/.

Nu se poate atribui o valoare arbitrară nici unei alte mărimi electrice din moment ce s-au fixat valorile numerice pentru $c$ şi $\mu_0$, deoarece (28) definește magnitudinile tuturor mărimilor electrice derivate [12]. De exemplu, valorile voltului şi faradului rezultă din ecuațiile

$$1 \text{ V} = [(\{\varepsilon_0\}/\varepsilon_0) \text{ 1N}]^{1/2}, \qquad (29)$$

$$1 \text{ F} = (\varepsilon_0/\{\varepsilon_0\}) \text{ 1m}, \qquad (30)$$

unde valoarea permitivității vidului se definește prin relația

$$1/(\mu_0\varepsilon_0) = c^2 . \qquad (31)$$

*CFF* ale căror valori definesc valorile unităților SI pot fi denumite **"constante ale lui SI" (*CFF-SI*)**. Valorile lor numerice pot fi scrise ***exact, sau cu o precizie oricât de mare*** (ultima precizare fiind necesară pentru exprimarea numerelor reale). În

acest mod se poate da o definiție a **realizării directe a unității SI** (o așa numită măsurare "absolută" [13]: *ea este o asemenea realizare a unității, care, fiind exprimată de o ecuație, nu poate conține decât constantele CFF-SI.*

Realizările definițiilor teoretice (28), (29) și (30) se obțin prin determinări experimentale ale forței exercitate între spire (balanțe de curent), ale forței exercitate între doi electrozi încărcați (electrometre sau balanțe de tensiune) sau prin construirea unui condensator a cărui capacitate poate fi calculată din dimensiunile sale geometrice (condensatorul calculabil). Rezultatele acestor măsurări (determinări experimentale, experiențe) oferă o parte din datele de intrare (mai mult sau mai puțin exacte) folosite pentru o ajustare statistică a *CFF.*

Se știe de mult că conceptul **realizării unității SI** nu reprezintă altceva decât tocmai ***realizarea directă a unității SI,*** de care s-a vorbit mai înainte. Ce definiție formală să se adopte acum pentru conceptul "realizare a unității SI"? Se crede că realizarea unității SI poate fi înțeleasă ca: *determinarea valorii SI a unei magnitudini fixe, date, de mărime fizică reprodusă în fapt.* Într-adevăr, determinările cu eroare de justețe și fidelitate minimă de acest fel trebuie acceptate oficial ca realizare a unității SI.

În prezent, realizările unității de tensiune electromotoare și de rezistență folosesc *magnitudini de mărimi fizice* ce se pot *calcula în funcție de CFF.* Ecuațiile implicate sunt:

$$1\ \mathrm{V} = [\{2e/h\}/(2e/h)]\ 1\ \mathrm{s}\,, \qquad (32)$$

$$1\ \Omega = 2\alpha R_{\mathrm{H}}/\{\mu_0 c\}\,, \qquad (33)$$

în care $h = 2\pi h$ și unde $a$ este constanta structurii fine, iar $R_{\mathrm{H}} = h/e^2$ este constanta von Klitzing, legată de *efectul Hall cuantic* (constanta $2e/h$ ce apare în (32) se numește constanta Josephson deoarece este legată de efectul Josephson).

De observat că, (32) și (33) conțin *CFF* care nu sunt *CFF-SI.* Pentru a putea considera (32) sau (33) drept realizare directă, una din *CFF*, $2e/h$, sau $\mu_0 c/2\alpha$ trebuie să se adopte drept "*CFF a unui sistem de unități* (*evident nu SI*)", și să se atribuie o valoare ***exactă*** acestei constante. În acest caz valoarea celeilalte constante va trebui să fie determinată din experiențe, împreună cu valorile lui $\mu_0$ și lui $\varepsilon_0$.

În 1988 Comitetul Internațional de Măsuri și Greutăți (Comité International des Poids et Mesures - CIPM) a adoptat unele schimbări [18] în unitățile electrice conservate pentru a le aduce într-o mai bună concordanță cu Sistemul Internațional de Unități (Système International d'Unités - SI). Două analize relativ recente [14],[15] au constituit baza acestor schimbări. Prima dintre acestea, ajustarea cele-mai-mici-pătrate (CMMP) a constantelor fizice fundamentale (*CFF*), efectuată de CODATA (Committee on Data for Science and Technology = Comitet de date pentru știință și tehnologie) în anul 1986, [14], a dedus pentru raportul Josephson de frecvență-tensiune, $2e/h$, și pentru rezistența Hall cuantizată (Quantized Hall resistance - QHR), $R_{\mathrm{H}}$, următoarele valori:

$$2e/h = 483\ 597{,}67(14)\ \ \mathrm{GHz/V}\ \ (0{,}30\ \mathrm{ppm}), \qquad (34)$$

$$R_{\mathrm{H}} = 25\ 812{,}8056(12)\ \ \Omega\ \ (0{,}045\ \mathrm{ppm}), \qquad (35)$$

care - la aceea dată - au fost estimațiile cele mai exacte.

(Abaterile standard fracționale sunt date în ppm - părți pe milion.)

Analiza mai recentă, cea din 1988, a fost făcută ca o versiune combinată a rapoartelor provenite de la grupul de lucru pe efectul Josephson (Working Group on the Josephson Effect) și de la grupul de lucru pe efectul Hall cuantic (Working Group on the Quantum Hall Effect - QHE). Aceste grupuri au primit ca sarcină, din partea comitetului consultativ de electricitate (Comité Consultatif d'Électricité - CCE), să propună noi valori pentru unitățile electrice conservate [15]. Această analiză a dus la niște valori recomandate pentru constanta Josephson

$$K_{\mathrm{J}} = 483\ 597{,}9(2)\ \ \mathrm{GHz/V}\ \ (0{,}4\ \mathrm{ppm}) \qquad (36)$$

și pentru constanta von Klitzing

$$R_{\mathrm{K}} = 25\ 812{,}807(5)\ \ \Omega\ \ (0{,}2\ \mathrm{ppm}). \qquad (37)$$

Pe baza acestor valori au fost stabilite următoarele valori convenționale:

$$K_{\mathrm{J\text{-}90}} = 483\ 597{,}9\ \ \mathrm{GHz/V} \qquad (36')$$

$$R_{\mathrm{K\text{-}90}} = 25\ 812{,}807\ \ \Omega. \qquad (37')$$

Este puțin probabil ca aceste valori convenționale să trebuiască schimbate în viitorul previzibil.

Mărimile (36') și (37') nu sunt propriu-zis *CFF,* dar există o interpretare - [16], [17] - ce arată că stabilirea acestor mărimi este strict echivalentă cu introducerea unităților de laborator conservate $V_{lab}$ și $\Omega_{lab}$.

În practică, magnitudinile unităților de laborator introduse experimental în conformitate cu (36') și (37') sunt date de expresiile

$$1\ V_{lab} = 1\ \mathrm{V}\ \{2e/h\}^{-1}\{K_{\mathrm{J\text{-}90}}\}(1 + \delta V_{lab}), \qquad (38)$$

$$1\ \Omega_{lab} = 1\ \Omega\ \{h/e^2\}\{R_{\mathrm{K\text{-}90}}\}^{-1}(1 + \delta\Omega_{lab}), \qquad (39)$$

unde $\{Q\}$ reprezintă valoarea numerică a unei mărimi fizice $Q$, iar $\delta V_{lab}$ și $\delta W_{lab}$ sunt erorile instrumentale fracționale.

În fine, trebuie de asemenea notat că, reprezentările voltului și ohmului prin (38) și (39), în conformitate cu valorile convenționale adoptate (36') și (37'), au drept scop principal îmbunătățirea uniformității mondiale a reprezentărilor naționale ale acestor

unități. Îmbunătățiri în realizările ohmului şi voltului bazate pe aceste reprezentări pot fi obținute prin reducerea erorilor instrumentale $\Delta$ şi prin reducerea incertitudinilor valorilor calculate,

$$K_V = \{2e/h\}^{-1} \{K_{J\text{-}90}\} \quad (40)$$

şi

$$K_W = \{h/e^2\}\{R_{K\text{-}90}\}^{-1} \quad (41)$$

care pot fi deduse dintr-un set de ecuații ce se pot scrie pentru constantele $2e/h$ şi $h/e^2$ combinând rezultatele măsurărilor efectuate asupra altor *CFF*.

**Concluzii**

Determinarea precisă a *CFF* este importantă atât din punct de vedere teoretic cât şi practic:

*Teoretic*

1) Studiul *CFF* permite analiza consistenței teoriilor fizicii;

2) Cercetările având ca scop explicarea valorilor *CFF* joacă un rol important în teoriile cosmologice cele mai moderne;

3) Studiul *CFF* contribuie la unificarea teoriilor fizice, direcție de cercetare importantă în fizica modernă;

4) *CFF* permit introducerea unor unități de măsurare naturale ideale din punctul de vedere al stabilității şi reproductibilității.

*Practic*

1) *CFF* joacă un rol important în definirea unităților practice SI, introducând precizii absolute în metrologie;

2) Proprietățile ideale ale *CFF* ca etaloane naturale se pot valorifica şi la nivel macroscopic datorită efectelor cuantice detectabile la acest nivel (efect Hall cuantic, efect Josephson);

3) Efectele de mai sus au deschis calea "metrologiei cuantice";

4) Reprezentarea unităților electrice în metrologia cuantică oferă precizii mult superioare celor atinse până acum;

5) Metrologia cuantică permite o conservare mult mai bună a unităților electrice precum şi o uniformitate superioară a determinărilor interlaborator;

6) Metrologia modernă este bazată din ce în ce mai mult pe fenomene atomice.

*REFERINȚE*


[1] *Millea, A,* Cartea metrologului - Metrologie generală - Editura Tehnică - București, 1985

[2] *Dirac, P. A. M,* Proceedings of the Royal Society, 165A, 199, 1938

[3] *Hawking, S. W,* A Brief History of Time, Bantam Book Trade Paper Edition 1990, p. 136

[4] *Cohen, E.R,* şi *Taylor, B.N.*, The 1986 Adjustment of the Fundamental Physical Constants, CODATA Bulletin No. 63 (International Council of Scientific Unions - Committee on Data for Science and Technology, 51 Blvd de Montmorency, 75016 Paris, France, Nov. 1986)

[5] *Cohen, E.R.,* Variability of the Physical Constants International School of Cosmology and Gravitation, Erice, Sicily, May 2-12, 1987

[6] *Bekenstein, J.D.,* Physical Review D 25, 1527,1982

[7] *Marciano, W.J.,* Physical Review Letters 52, 489, 984

[8] *Kolb, E.W., Perry, M.J., Walker, T.P.,* Physical Review D 33, 869, 986

[9] *Page, C.H.,* Science 179, 873-875, 1973

[10] *Elnekave, N.,* Bulletin BNM, 10, 7-8, 1979

[11] *De Boer, J.*, Am. J. Phys., 47, 818-819, 1979

[12] *Cohen, E.R.,* IEEE Trans. Instrum. Meas., IM-38, 167-171, 1989

[13] Le Système International d'Unités (SI), 5th ed. Sčvres, BIPM, p.105, 1985

[14] *Cohen E.R., Taylor B.N.,* Rev. Mod. Phys., 59, 1121-1148, 1987

[15] *Taylor B.N., Witt T.J.*, Metrologia, 26, 47-62, 1989

[16] *Taylor B.N.,* Document CCE/88-27, prezentat la cea de-a 18-a şedință a CCE, 1988

[17] *Quinn T.J.,* Document CCE/88-33, prezentat la cea de-a 18-a şedință a CCE, 1988

[18] BIPM Com. Cons. Électricité, 18, E15-E16, 1988

# METROLOGIA DE SISTEM, un domeniu de o reală importanţă economică

*IOAN FLORIN CREŢU**

**Abstract:** *The paper presents a short review of the various aspects that the notion of domain has in the organization of the metrological activities. Within this framework, the specific characteristics of the system metrology are presented, this domain, based on the use of computers, exhibiting a significant development. The paper also presents the main objectives of the investigation techniques for measuring systems, the new connotations of the traceability concept, the specific features of some of the testing operations for the instruments included in the systems and for entire systems, the specific measurement information insurance requirements. Finally some tendencies for the national metrological institutions to adapt to the needs of system metrology.*

**Résumé:** *L'article présente une brève revue des nuances de la notion de domaine dans l'organization des activités métrologique. On présente dans ce cadre les caractéristiques spécifiques de la métrologie de système, un domaine basé sur l'utilisation des ordinateurs qui se développe d'une manière significative.On présente dans ce cadre les principaux objectifs des techniques d'investigation métrologique pour les systèmes de mesure, la nouvelle acception de la traçabilité, les particularités des certains opérations d'essai pour les appareils composantes des systèmes et pour les systèmes entiers, les exigences spécifiques d'assurance des informations de mesure. On indique quelques tendences d'adaptation des institutions nationales de métrologie aux besoins de la métrologie de système.*

Organizarea activităţilor metrologice este, în mod tradiţional, orientată pe domenii. Un domeniu este legat, de obicei, de o mărime fizică sau de un grup de mărimi fizice înrudite. Se folosesc adesea, în acelaşi context, exprimări ca: domeniul mărimilor electrice, domeniul curent continuu sau domeniul mărimilor mecanice, domeniul volume etc., acordându-se termenului un înţeles destul de larg, încât este necesară o referire la semnificaţia sa.

Pornindu-se de la premiza de primă importanţă pentru o activitate metrologică şi anume că orice caracteristică a unui mijloc de măsurare trebuie să fie verificată cu etaloane trasabile, noţiunea de domeniu coagulează metode de lucru înrudite şi tehnici care să susţină premiza trasabilităţii.

Deşi cu o delimitare conceptuală puţin precisă, ideea de domeniu a dominat organizarea metrologică şi poate fi întâlnită, şi în prezent, în cele mai multe situaţii.

Dezvoltarea metodelor de prelucrare şi transmitere a informaţiilor, a tehnicii de calcul, în general, pe lângă contribuţia majoră pe care a avut-o la perfecţionarea tehnicilor de măsurare a impus metode de lucru care au revoluţionat principiile de investigare metrologică, [1, 2, 3] şi au adus o contribuţie surprinzătoare la creşterea gradului de difuzie a noţiunii de domeniu.

### Un exemplu

Un exemplu poate aduce o imagine mai clară a situaţiei:

Să considerăm un sistem pentru măsurarea volumelor de petrol care se vehiculează printr-o conductă, sistem care poate avea următoarele părţi componente:

- calculator de debit
- traductor de volum (PD meter)
- traductor de temperatură
- traductor de presiune
- traductor de densitate.

Principial, funcţia acestui sistem constă în măsurarea volumului de petrol în condiţii de lucru (temperatură, presiune, densitate), convertirea şi contorizarea acestui volum în condiţii de referinţă (temperatură, presiune). Funcţia sa principală este

* Institutul Naţional de Metrologie, şos. Vitan Bârzeşti, nr.11, sector. 4, Bucureşti.

însoțită de o serie de alte funcții ca: transmiterea la distanță a unor semnale, adaptarea configurării la condițiile măsurării, comanda unor elemente de execuție etc., funcții de mare importanță pentru supravegherea unui proces tehnologic, realizate de calculatorul de debit și inseparabile procesului de măsurare a volumului.

O analiză sumară a componentei acestui sistem relevă faptul că, în timp ce traductoarele aparțin mai multor domenii: volum, temperatură, presiune, densitate, informația finală este obținută prin calcul folosind cel mai adesea o metoda standardizată.

În această situație trasabilitatea se referă în egală măsură la traductoare, sub aspectul general acceptat al comparării acestora cu etaloane adecvate pentru fiecare mărime fizică, dar și la calculatoare, unde indicațiile se compară cu cele ale unor "etaloane convenționale", programe de calculator care reproduc în toate detaliile, cu exactitate deosebit de ridicată, metoda de măsurare.

Compararea indicaților cu "etaloane convenționale", metodă relativ nouă în activitatea metrologică presupune folosirea unor tehnici comune cum sunt simulările de mărimi și semnale electrice, dar și modele și metode de analiză a performanțelor care pot fi incluse în categoria "specifice".

**Încercarea**

Cu mijloacele tehnice actuale nu ne putem imagina o instalație pe care să fie verificat un sistem ca cel descris mai sus, în ansamblu. O asemenea realizare ar necesita sume și eforturi extrem de mari și ar fi de o utilitate cel puțin discutabilă. Rezolvarea problemelor se face pe altă cale, implicând asocierea unor experiențe fizice parțiale cu prelucrarea de informații. Soluțiile acestea, incomparabil mai avantajoase și cu o arie largă de aplicare, oferă toate datele necesare unei supravegheri metrologice eficiente și corecte.

Aplicarea acestor soluții este posibilă folosind informațiile obținute la verificarea fiecărui traductor ca și facilitățile pe care le oferă calculatorul de debit, element central al întregului sistem și care, prin construcție, atât hard cât și soft, este prevăzut cu mijloacele necesare investigării funcționării. De altfel, calculatorul, având pentru fiecare traductor un bloc de intrare specific, poate fi privit ca o imagine completă a întregului sistem, diferența între imagine și sistemul real fiind, în cele mai multe cazuri, de natură cantitativă (nivele de parametri și performanțe).

În marea majoritate a cazurilor, toate elementele componente ale sistemului sunt interschimbabile. Traductoarele au cel puțin o ieșire în semnal unificat (4...20 mA sau 1...5 V); mai nou tinde să se impună interfațarea digitală. Standardele hard sunt larg acceptate (RS 232, 422, 485), iar pentru logica transferului de date concurează standarde care se implementează opțional (HART, INTENSOR, MODBUS și altele).

Este evident că toată această tehnică a fost creată având la bază principiile modularizării, respectându-se reguli de compatibilitate la toate nivelele (constructiv, energetic, informațional și chiar fiabilist), ceea ce impune un tratament metrologic (încercări, verificări, analize de performanțe) adecvat, adică tratarea fiecărui element separat, conform specificului său și analiza finală a performanței metrologice a ansamblului.

Prin structura și concepția unui sistem de măsurare de această natură problema analizei finale a performanței metrologice devine o problemă de analiză de informații care se efectuează cu metode specifice, bazate în mod deosebit pe tehnici de programare [4, 5].

Menționăm că prin facilitățile de definire și configurare oferite de unele calculatoare de debit, care permit modificarea structurii sistemului chiar la locul de montaj, noțiunea de model folosită ca noțiune de bază în activitatea de încercare a modelelor și acordare a aprobărilor de model capătă semnificații noi, cu implicații foarte importante în orientarea operațiunilor tehnice de verificare și analiză. Practic, în jurul unui calculator de debit se pot construi un număr mare de sisteme a căror analiză este pe cât de dificilă, pe atât de inutilă în faza de aprobare de model, ceea ce conduce la o reorientare a operațiunilor de analiză din faza de încercare în faza de punere în funcțiune. În acest context putem afirma cu siguranță că în fața personalului metrologic stau activități noi pentru care este necesară calificare corespunzătoare și mijloace tehnice adecvate (noi metode de verificare, utilizarea competentă a unor programe etalon convențional, operarea asistată de calculator a unor mijloace de simulare sau a unor modele de sisteme).

Analiza performanțelor unui astfel de sistem este cu atât mai necesară cu cât informațiile de măsurare oferite sunt de valoare mai mare

(pentru sisteme de acest fel, valoarea unui procent din cantitatea contorizată lunar depăşeşte adesea sume de zeci de milioane de lei).

Cuplarea unui număr de patru traductoare la un calculator se face prin interfeţe flexibile (unificate în curent sau tensiune sau digitale). Este posibil, fără efort, ca la aceleaşi borne să se cupleze orice traductor, indiferent de caracteristicile sale specifice (interval de măsurare, exactitate). Programele de configurare şi definire ale calculatorului permit introducerea constantelor care definesc intervalul, asigurându-se astfel corectitudinea calculelor. Exactitatea (clasa de precizie) a traductorului este însă o mărime cu care algoritmul de calcul, de regulă, nu operează dar care are, cel mai adesea o contribuţie majoră la exactitatea globală a sistemului. Acesta este un al doilea motiv, la fel de important, pentru care este necesar să se ţină sub control exactitatea sistemului, în ansamblul său.

**Includerea în reţele**

Prin aceleaşi tehnici de interfaţare un calculator poate dialoga cu alte calculatoare situate la nivele ierarhice superioare şi faţă de care poate fi "master" sau "slave", adică, mai simplu, poate da comenzi sau poate primi comenzi. Modul de acţiune al acestor comenzi asupra constantelor de configurare reprezintă un interes deosebit pentru cazurile în care sistemul este folosit în tranzacţii [6, 7]. Cu alte cuvinte sunt necesare măsuri speciale de supraveghere care să ofere certitudinea că informaţia de bază (date de configurare, datele înregistrate în contoare) să fie în permanenţă sub un control strict.

Păstrarea informaţiei sub un control strict intră într-o bună măsură în conflict cu practica accesului liber la informaţie în reţelele de calculatoare. Tendinţa de rezolvare a acestui conflict este de separare informaţională a nivelelor şi exercitarea controlului strict numai asupra informaţiei primare cu care lucrează şi pe care o produce sistemul de măsurare [6]. Practicile de separare informaţională a nivelelor sunt destul de variate, iar testarea efectivă a posibilităţii reale de control este o operaţie laborioasă care se efectuează, de regulă, cu colaborarea activă a proiectantului aplicaţiei.

În cele de mai sus am folosit pentru prezentare unele aspecte privind metode specifice de analiză în cazul unui sistem de măsurare a volumului de petrol folosit în scopuri tranzacţionale. Probleme asemănătoare se pun în cazul unor sisteme pentru măsurarea masei şi care folosesc pentru transmiterea de informaţii aceleaşi tipuri de interfeţe sau chiar în cazul sistemelor pentru contorizarea numărului de impulsuri după distanţă şi durată la centralele telefonice. Desigur, fiecare caz în parte prezintă anumite particularităţi, dar principiile de organizare a sistemelor şi metodele de investigare metrologică rămân aceleaşi.

**Principale obiective**

După prezentarea sumară a problemelor generate de astfel de sisteme de măsurare, încercăm să prefigurăm o imagine a principalelor obiective ale tehnicilor de investigare metrologică a sistemelor:

*a.* determinarea performanţei (exactităţii) globale printr-o corelare judicioasă a performanţelor componentelor sistemului cu exactitatea metodei de măsurare. Se folosesc, de obicei, programe de calculator care agregă date extrase din caracteristicile de funcţionare a componentelor sistemelor cu date de configurare;

*b.* o analiză a metodelor specifice de prelucrare a informaţiilor care urmăreşte să pună în evidenţă imunitatea prelucrărilor interne la intervenţii pe diverse nivele (componenţă, configurare, soft etc);

*c.* o investigare a tehnicilor de interfaţare având drept scop punerea în evidenţă a modurilor de comunicare prin interfeţe (paralele, seriale, soft etc).

Remarcăm faptul că tehnicile de investigare operează în primul rând cu metode de prelucrare a informaţiei şi sunt în bună măsură independente de fizica fenomenelor, [8].

**Adaptarea structurii instituţiilor naţionale la noile cerinţe**

Necesitatea rezolvării acestor categorii de probleme a influenţat structura de organizare a institutelor metrologice unde s-au dezvoltat o serie de compartimente de activitate cum ar fi: Laboratorul naţional pentru sisteme de calcul din cadrul NIST (SUA) care a creat metodologia pentru testarea programelor [2,3] şi un laborator specializat în cadrul PTB (Germania), liderul european în promovarea noilor metode de verificare soft pentru instrumente de măsurat [7].

În cadrul Institutului Național de Metrologie există din anul 1988 un laborator de Sisteme automate de măsurare care a preluat şi rezolvat toate problemele generate de încercarea calculatoarelor cu funcții de măsurare utilizate în activități publice.

O activitate susținută, orientată cu precădere spre rezolvarea unor probleme concrete, a făcut ca în prezent, cu toate lipsurile, în mod deosebit de ordin material, acest laborator să dețină mijloacele necesare (programe etalon convențional, simulatoare performante, proceduri de lucru) asigurării metrologice a calculatoarelor cu funcții de măsurare şi sistemelor de măsurare.

Un rezultat important al acestei activități a fost orientarea judicioasă a activității de încercare în cadrul aprobărilor de model unde s-a reuşit într-un timp scurt să se asimileze la nivel practic normele internaționale care recomandă metode de măsurare de interes practic, să se asigure o caracterizare obiectivă a calității aparatelor încercate, o preluare rapidă a metodelor de verificare.

În anul 1996 a fost efectuată o experiență de transferare a metodelor de verificare către laboratoarele de verificări metrologice din teritoriu. Interesul manifestat față de această experiență ne dă speranța că, pe această cale, vom reuşi să contribuim la modernizarea activităților metrologice, la o supraveghere corectă şi competentă a unei categorii de aparate cu importante implicații în desfăşurarea activităților economice. Experiența acumulată de-a lungul anilor în cadrul acestui laborator a fost deosebit de bine venită pentru îndrumarea institutelor de proiectare implicate în modernizarea marilor rețele naționale de transport pentru gaze şi lichide petroliere, care au primit informații utile despre procedurile tehnice aplicate în cadrul aprobărilor de model, metode specifice de asigurare metrologică, criterii prntru estimarea fiabilității mijloacelor de măsurare.

În prezent se întreprind eforturi pentru o organizare versatilă a algoritmilor şi programelor de analiză a sistemelor astfel încât, prin intermediul unor structuri modulare, să se asigure posibilitatea unei mai simple corelări cu mai multe documente normative în condițiile unor nivele de încredere garantate.

*BIBLIOGRAFIE*

[1] *Thomas A.* Thayer Software Reliability - North Holland Publishing Co 1978

[2] *Dolores R Wallace* An Experiment in Software Acceptance Testing - NBS IR 86- 3407

[3] *W. Dolores, J. Cherniavsky* Report on the NBS Software Acceptance Workshop April 1-2 1986

[4] *U. Grottker, J. Glimm* Personal computers as part of measuring instruments, subject to verification Buletin OIML no 123 juni 1991

[5] *R. Ohl* Computers used as auxiliary measuring devices in legal metrology Buletin OIML no 123 juni 1991

[6] *R. Schwartz* Software interfaces and requirements for free programmable non automatic weighing instruments OIML Bulletin vol xxxvi no 1 jan 1996

[7] *U. Grottker,* s. a Software verification for measuring instruments:a European approach OIML Bulletin vol xxxvi no 4 oct 1996

[8] *Ph. Degrave* Software application in legal metrology - Editorial OIML Bulletin vol xxxvi no 4 oct 1996.

# Măsurarea raportului a două mărimi fazoriale prin metoda detecției sincrone

*Gheorghe TODORAN, Romul COPÎNDEAN, Florin DRĂGAN*[*)]

**Abstract:** *The paper describes the vector ratio detector function of two synchronous quadrature detectors with a reference signal with adjustable phase. The method allows one to determine the module of the vector ratio, the phase shift between the two vectors and the individual phase shifts between each of the two vectors and the reference vector.*

**Résumé:** *L'article présente la fonction de détecteur de rapport vectoriel des deux dsynchrones en quadrature avec un signal de référence qui peut ętre réglé en phase. La métode permet la détermination du module du rapport vectoriel, du qui existe entre ces deux vecteurs et du qui existe entre chaqun des deux vecteurs et le vecteur de référence.*

## 1 Introducere

Detectorul sincron este un circuit cu o largă utilizare în tehnica prelucrării semnalelor de măsurare.

O gamă de aplicații se referă la măsurarea tensiunilor alternative mici în prezența zgomotului. Prin detecție sincronă are loc rejecția tensiunii de zgomot, prin translatarea semnalului de zgomot într-un canal cu bandă echivalentă de zgomot îngustă ( amplificatoare *lock in*) [M2], [P1].

O altă gamă de aplicații derivă din funcția de demodulare sensibilă la fază a detectorului sincron. În acest caz detectorul sincron furnizează la ieşire o tensiune continuă proporțională cu valoarea proiecției fazorului asociat mărimii sinusoidale de intrare pe fazorul asociat mărimii sinusoidale de referință [M2],[T2].

În lucrarea de față este ilustrată funcția de detector fazorial a două detectoare sincrone în cuadratură, cu semnal de referință reglabil în fază. Detectorul de raport fazorial furnizează la ieşire, în două secvențe de lucru, patru tensiuni de curent continuu. Aceste tensiuni sunt proporționale două câte două cu proiecțiile celor doi fazori pe doi fazori de referință în cuadratură. Metoda permite determinarea modulului raportului fazorial, a defazajului dintre cei doi fazori şi a defazajelor individuale dintre fiecare din cei doi fazori şi fazorul de referință. Avantajul metodei constă în aceea că rezultatele sunt independente de sistemul de referință. Metoda se pretează la o implementare virtuală în timp deplasat [T2]. În cele ce urmează se prezintă aspectele teoretice şi în final este dată o aplicație care să ilustreze principiul metodei.

## 2 Tehnica măsurării prin demodulare sensibilă la fază

### *Detectorul sensibil la fază prin multiplicare analogică*

Demodularea sensibilă la fază este un caz particular al demodulării în amplitudine de produs [G],[S1].

Fie $x_{MA}(t)$ un semnal modulat în amplitudine de produs:

$$x_{MA}(t) = x(t) \cos(2\pi f_x t - \varphi)$$

unde:

$x(t)$ semnalul de intrare;

$f_x$ frecvența de intrare;

$\varphi$ frecvența inițială.

Semnalul demodulat $x_d(t)$ se obține printr-o operație de multiplicare în domeniul timp

$$x_d(t) = x_{MA}(t)\, x_r(t)$$

unde

$x_r(t) = \cos(2\pi f_r t - \varphi_r)$ este semnalul de referință;

$f_r$ frecvența de referință;

$\varphi_r$ faza de referință.

Rezultă:

$$x_d(t) = x(t) \cos(2\pi f_x t - \varphi) \cos(2\pi f_r t - \varphi_r) =$$

$$= \frac{1}{2} x_d[\cos(2\pi(f_r - f_x) t + \varphi - \varphi_r) +$$

$$+ \cos(2\pi(f_r + f_x) t + \varphi - \varphi_r)]$$

Pentru $f_x = f_r$ (sincronism), valoarea medie pe o perioadă a semnalului demodulat este

$$X_{d\,mediu} = \frac{1}{2} x(t) \cos(\varphi - \varphi_r) \qquad (1)$$

*)] Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

Pentru $x(t)$ = constant, $X_{d\ mediu}$ exprimă defazajul dintre semnalul $x_{MA}(t)$ şi $x_r(t)$.

Valoarea $X_{d\ mediu}$ se extrage prin intermediul unui filtru trece jos (FTJ).

Schematic demodularea sensibilă la fază prin multiplicare analogică este prezentată în figura 1.

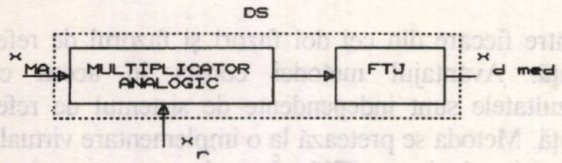



Fig. 1. Demodulare sensibilă la fază prin multiplicare analogică

Într-un sistem de măsurare prin demodulare sensibilă la fază, informaţia de măsurare continuă sau lent variabilă, conţinută în amplitudinea unui semnal modulat în produs este transferată într-un semnal constant (de curent continuu) sau lent variabil [L1],[T2].

*Detector sensibil la fază prin choppare*

În acest caz multiplicarea se realizează prin intermediul unui comutator simetric ilustrat în figura 2*a*.

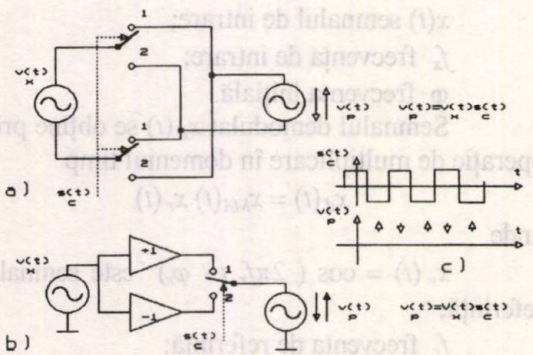



Fig. 2. Ilustrarea principiului multiplicării prin choppare

Funcţia de comutare este definită prin una din relaţiile:

$$s_s(t)=\begin{cases}+1, & t\in\left[0,\dfrac{T}{2}\right]\\ -1, & t\in\left[\dfrac{T}{2},T\right]\end{cases}$$

sau, aşa cum este ilustrat în figura 2*c*:

$$s_c(t)=\begin{cases}+1, & t\in\left[-\dfrac{T}{4},\dfrac{T}{4}\right]\\ -1, & t\in\left[\dfrac{T}{4},3\dfrac{T}{4}\right]\end{cases}$$

unde $s_c(t)$ este retardat cu $T/4$ faţă de $s_s(t)$.

$$s_c(t)=s_s\left(t-\frac{T}{4}\right)$$

Fie $v_x(t)$ semnalul de la intrarea comutatorului simetric. Semnalul de ieşire se poate scrie:

$$v_p(t)=v_x(t)\,s_c(t)$$

Funcţia de comutare simetrică $s_c(t)$ cu un defazaj iniţial $\phi_r$ – figura 2*c* are devoltarea Fourier [M3]:

$$s_c(t)=\frac{4}{\pi}\sum_{0}^{\infty}(-1)^k\frac{\cos(2k+1)(2\pi f_r t-\varphi_r)}{2k+1}$$

Dacă $v_x(t)$ are o variaţie nesinusoidală:

$$v_x(t)=V_x\cos(2\pi f_x t-\varphi)$$

$v_p(t)$ se poate scrie:

$$v_p(t)=\frac{4}{\pi}V_x\cos(2\pi f_x t-\varphi)\left[\cos(2\pi f_r t-\varphi_r)+\sum_{1}^{\infty}(-1)^k\frac{\cos(2k+1)2\pi f_r t-\varphi_r}{2k+1}\right]$$

Pentru $f_x = f_r$ valoarea medie a semnalului $v_p(t)$ este :

$$\bar{v}_p(t)\,|_T=\frac{2}{\pi}V_x\cos(\varphi-\varphi_r) \qquad (2)$$

Relaţiile (1) şi (2) sunt analoage.

În cazul când semnalul de intrare este alternativ nesinusoidal prin operaţia de choppare are loc, la sincronism, o translatare de frecvenţe în origine a componentelor de frevenţă impară a semnalului de intrare. Acest lucru apare ca o consecinţă a multiplicării două câte două a semnalelor impare de aceeaşi frecvenţă [P1],[T2].

Considerăm detectorul sincron prin choppare ilustrat în figura 3*a*. Se disting:

– amplificatorul selectiv, care are rolul de a selecta una sau mai multe componente armonice din spectrul semnalului de intrare; – multiplicatorul prin choppare care este realizat într-o configuraţie de comutator simetric; – filtrul trece jos (FTJ), circuit care trebuie dimensionat astfel încât să aibă o bandă echivalentă de zgomot de valoare mică. În acest caz se asigură o rejecţie de zgomot ridicată; – circuitul formator îndeplineşte funcţia de triggerare a semnalului de referinţă; – circuitul defazor ilustrat în figura 3 prin simbolul < φ are rolul de a introduce o corecţie de fază, implicit corecţie de sensibilitate. În unele scheme practice circuitul defazor precede circuitul formator. Este cazul în care circuitul defazor este proiectat să lucreze strict în regim sinusoidal; – DS simbolizează blocul detectorului

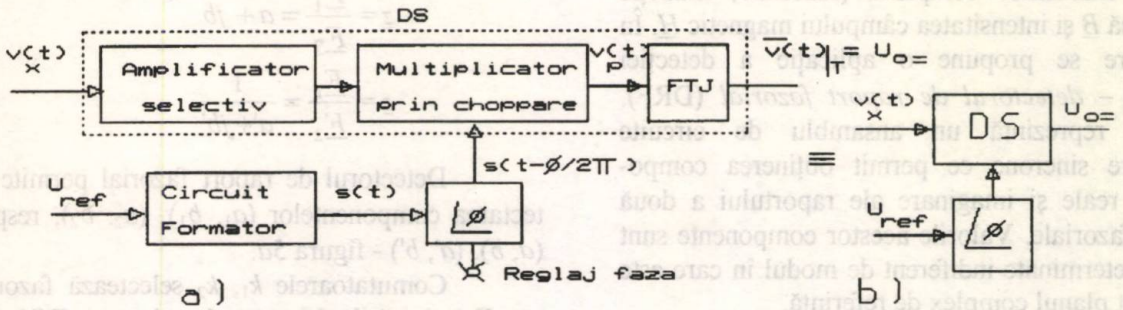



Fig.3 Detector sincron prin choppare

sincron. Prin simbolul din figura 3*b* se va ilustra modul de desemnare în bloc a acestui circuit.

Răspunsul în frecvență al semnalului de la ieşirea filtrului trece jos este [Anexa A]:

$$\overline{V}(f)=\frac{2}{\pi}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k}{2k+1}V_{x_{2k+1}}\delta(f)\cdot \cos\left[\varphi_{2k+1}-(2k+1)\varphi_r\right] \quad (3)$$

Relația (3) conduce la următoarele concluzii:

– răspunsul unui detector sincron ideal este un semnal de curent continuu (sau lent variabil);

– pentru obținerea la ieşire a unui semnal care să înglobeze strict informația conținută în amplitudinea sau faza armonicii de ordinul $(2k+1)$, este necesară înserarea unui amplificator selectiv, pentru frecvența $(2k+1)f_x$;

– pentru $\varphi_{2k+1}-(2k+1)\varphi_r=0$, sensibilitatea detectorului sincron este maximă. În acest caz informația de măsurare este transmisă prin amplitudine;

– pentru $V_{x\,2k+1}$ = constant, mesajul de măsurare se poate transmite prin fază.

*Detectoare sincrone în cuadratură*

Două detectoare sincrone având aceeaşi tensiune de intrare şi referință de fază $\varphi_{r1}=\varphi_r$ şi $\varphi_{r2}=\pi/2\pm\varphi_r$ complementare, se numesc în cuadratură.

Detectoarele sincrone în cuadratură au tensiunile de ieşire proporționale cu proiecțiile fazorului asociat tensiunii de intrare, după două direcții perpendiculare care fac unghiurile $(\varphi_{r1}-\varphi)$ şi $(\varphi_{r2}-\varphi)$ cu acesta.

Dacă $\underline{V}_x$ este tensiunea comună de la intrarea detectoarelor sincrone în cuadratură, şi $U_{0=}^{(1)}$ şi $U_{0=}^{(2)}$ tensiunile de ieşire, avem:

$$U_{0=}^{(1)}=\frac{2}{\pi}V_x\cos(\varphi-\varphi_r)$$

$$U_{0=}^{(2)}=\frac{2}{\pi}V_x\sin(\varphi-\varphi_r)$$

se poate scrie formal:

$$\underline{V}_x=\frac{\pi}{2}\left[U_{0=}^{(1)}+jU_{0=}^{(2)}\right]=A+jB \quad (4)$$

Relația (4) exprimă caracteristica "în complex" a unui circuit format din două detectoare în cuadratură. Componentele $A$ şi $B$ sunt valorile a două tensiuni continue, valori egale cu valorile proiecțiilor $\underline{V}_x$ după două axe rectangulare.

*Observație*: Modul de analiză a detectorului sincron prin considerarea unui sistem fazorial rectangular de referință derivă dintr-un formalism matematic propriu mărimilor sinusoidale variabile în timp. Tensiunile de ieşire ale unui detector sincron în cuadratură fiind tensiuni continue nu sunt, la propriu, proiecțiile fazorului tensiunii de intrare pe anexele sistemului fazorial de referință. Dar deoarece valorile acestor tensiuni sunt proporționale cu valorile acestor proiecții, printr-un "abuz de limbaj", se spune că semnalele de ieşire ale detectorului sincron în cuadratură reprezintă ele însele proiecții fazoriale.

În majoritatea aplicațiilor la calibrarea detectoarelor sincrone se reglează unghiul $\varphi_r$ până se realizează condiția $\phi_r=\phi$ ceea ce corespunde la un semnal maxim la ieşire. În acelaşi timp $\phi_{r2}$ se aduce la valoarea $\pi/2-\phi$.

## 3 Detectorul de raport fazorial

Există o mulțime de mărimi care, în formalismul matematic propriu domeniului electrotehnicii se exprimă ca raportul a două mărimi complexe, respectiv ca raportul a două mărimi fazoriale (de exemplu permeabilitatea magnetică complexă [W1],[W2],[Z1]. Ea se exprimă ca

raportul mărimilor complexe (fazoriale) inducție magnetică $\underline{B}$ și intensitatea câmpului magnetic $\underline{H}$. În continuare se propune o aplicație a detecției sincrone – *detectorul de raport fazorial* (DRF). Aceasta reprezintă un ansamblu de circuite detectoare sincrone ce permit obținerea componentelor reale și imaginare ale raportului a două mărimi fazoriale. Valorile acestor componente sunt univoc determinate indiferent de modul în care este specificat planul complex de referință.

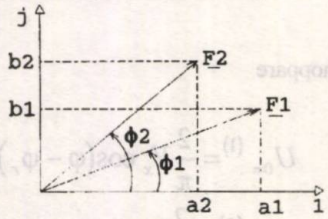



Fig. 4 Fazori în planul complex

Fie un sistem de axe în planul complex $(1,j)$, specificat printr-un fazor de referință $\underline{F}_{ref}$ – în fază cu axa reală. Considerăm $\underline{F}_1$ și $\underline{F}_2$ doi fazori, defazați în sens antiorar cu unghiurile $\phi_1$, $\phi_2$, față de fazorul de referință – figura 4.

$$\underline{F}_{ref}=F_{ref}e^{j\omega t} \tag{5}$$

$$\underline{F}_1=F_1e^{j(\omega t+\varphi_1)}=(a_1+jb_1)e^{j\omega t} \tag{6}$$

$$\underline{F}_2=F_2e^{j(\omega t+\varphi_2)}=(a_2+jb_2)e^{j\omega t} \tag{7}$$

unde

$$a_{1,2}=F_{1,2}\cos\varphi_{1,2} \tag{8a}$$

$$b_{1,2}=F_{1,2}\sin\varphi_{1,2} \tag{8b}$$

Raportul fazorial a două semnale complexe:

$$\underline{z}=\frac{\underline{F}_1}{\underline{F}2}=\frac{F_1}{F2}\frac{\cos\varphi_1+j\sin\varphi_1}{\cos\varphi_2+j\sin\varphi_2} \tag{9}$$

poate fi scris sub una din formele:

$$\underline{z}=\frac{\underline{F}_1}{\underline{F}_2}=\frac{a_1+jb_1}{a_2+jb_2} \tag{9a}$$

$$\underline{z}=\frac{\underline{F}_1}{\underline{F}_2}=a+jb \tag{9b}$$

$$\underline{z}=\frac{\underline{F}_1}{\underline{F}_2}=\frac{1}{a'+jb'} \tag{9c}$$

Detectorul de raport fazorial permite detectarea componentelor $(a_1, b_1)$, $(a_2, b_2)$, respectiv $(a, b)$, $(a', b')$ - figura 5*a*.

Comutatoarele $k_1$, $k_2$ selectează fazorii $\underline{F}_1$ sau $\underline{F}_2$ la intrările detectoarelor sincrone DS1, DS2. Detectorul sincron DS2 este în cuadratură cu DS1, datorită decalării referinței sale cu 90° prin intermediul defazorului DF $\angle 90$.

Fazorul de referință $\underline{F}_{ref}$ poate fi " rotit" prin intermediul defazorului reglabil DF $\angle\phi_r$.

Pe poziția 1 respectiv 2 a comutatoarelor $k_1$ și $k_2$ se obțin la ieșirea circuitelor detectoare sensibile la fază tensiuni continue proporționale cu componentele $a_1$, $a_2$, respectiv $b_1$, $b_2$ ale semnalelor complexe $\underline{F}_1$ , $\underline{F}_2$.

Rotirea fazorului de referință cu unghiul $\phi_0$ duce la rotirea planului complex în sens antiorar cu unghiul $\phi_0$ ceea ce este echivalent cu rotirea în planul inițial în sens orar a fazorilor $\underline{F}_1$ , $\underline{F}_2$ cu unghiul $\phi_0$ – figura 6.

În acest caz raportul fazorial se scrie:

$$\underline{z}=\frac{\underline{F}_1}{\underline{F}_2}=\frac{a_1'+jb_1'}{a_2'+jb_2'}= \tag{10}$$

$$=\frac{F_1}{F_2}\frac{\cos(\varphi_1-\varphi_0)+j\sin(\varphi_1-\varphi_0)}{\cos(\varphi_2-\varphi_0)+j\sin(\varphi_1-\varphi_0)}$$

La ieșirea detectoarelor sincrone DS1, DS2 se obțin componentele $a'_1$, $b'_1$, respectiv $a'_2$, $b'_2$.

De remarcat că relația (10) se poate scrie sub forma:

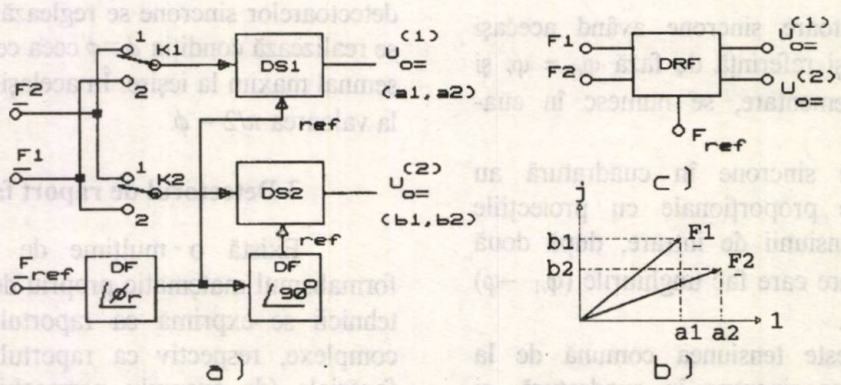



Fig. 5 Detector de raport fazorial

$$\underline{z} = \frac{\underline{F}_1}{\underline{F}_2} = a + jb =$$

$$= \frac{F_1}{F_2}\left[\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + j\sin(\varphi_1 - \varphi_2)\right] \quad (11)$$

Relația (11) pune în evidență că se pot calcula modulul raportului fazorial $F_1/F_2$, precum și defazajul între cei doi fazori.

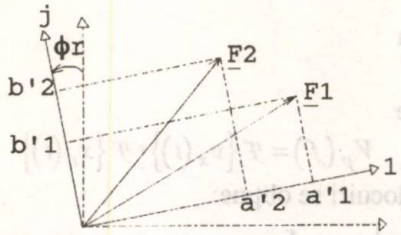



Fig. 6 Rotirea planului complex cu unghiul $\Psi_r$ al fazorului de referință

Este de remarcat faptul că rezultatele sunt independente de amplitudinea fazorului de referință și de asemenea de defazajele celor doi fazori în raport cu fazorul de referință.

*Cazuri particulare*

1. $\underline{F}_{ref} \equiv \underline{F}_2$

În acest caz:

$$\underline{z} = \frac{\underline{F}_1}{\underline{F}_2} = \frac{F_1}{F_2}\left[\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + j\sin(\varphi_1 - \varphi_2)\right] =$$

$$= a + jb \quad (12)$$

La ieșirea detectoarelor sincrone se vor obține componentele $a$ și $b$.

2. $\underline{F}_{ref} \equiv \underline{F}_1$

În acest caz:

$$\underline{z} = \frac{\underline{F}_1}{\underline{F}_2} = \frac{F_1}{F_2}\frac{1}{\cos(\varphi_2 - \varphi_1) + j\sin(\varphi_2 - \varphi_1)} =$$

$$= \frac{1}{a' + jb'} \quad (13)$$

La ieșirea detectorului de raport fazorial se obțin tensiuni continue proporționale cu valorile $a'$ și $b'$.

*Observații:*

Dacă fazorii $\underline{F}_1$ și $\underline{F}_2$ sunt tensiunea $\underline{U}$ de la bornele unui circuit, respectiv curentul $\underline{I}$ prin circuit, raportul fazorial are sens de impedanță:

$$\underline{z} = \underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = a + jb$$

și componentele $a$ și $b$ sunt proporționale cu rezistența, respectiv reactanța circuitului. Fazorul de referință se va lua în fază cu curentul.

Dacă raportul fazorial este de forma:

$$\underline{z} \equiv \underline{Y} = a' - jb'$$

$\underline{z}$ are semnificația de admitanță, iar componentele $a'$ și $b'$ au semnificația conductantei, respectiv susceptanței circuitului.

*În concluzie* detectorul de raport fazorial poate fi privit ca un circuit, având două mărimi periodice de intrare și o mărime de referință sinusoidală. Dacă mărimile de intrare sunt nesinusoidale armonicilor acestora, sincrone în frecvență cu mărimea de referință, li se pot asocia fazori într-un plan complex definit de fazorul mărimii de referință și de un fazor ortogonal cu acesta. La ieșire, detectorul de raport fazorial furnizează patru semnale de curent continuu, în două etape de măsurare. Aceste semnale sunt proporționale două câte două cu componentele proiecțiilor fazorilor de intrare pe axele sistemului fazorial de referință. Rotirea sistemului de referință într-un sens este echivalentă cu rotirea în sens opus cu același unghi a fazorilor de la intrare.

Raportul fazorial, definit în sensul celor afirmate mai sus, trebuie privit ca un operator complex de înmulțire și este impropriu a se face o reprezentare în complex, analoagă semnalelor sinusoidale [G2], [T1].

## 4 Aplicație

Principiul metodei este ilustrat prin exemplul din figura 7, în care este prezentată schema cunoscută a unui impedanțmetru [M2], în care distingem , AD amplificator operațional, DRF detectorul de raport fazorial. $\underline{E}$ este tensiunea sinusoidală de alimentare, $\underline{U}_z$ și $\underline{U}_{R0}$ sunt tensiunile de intrare în detectorul de raport fazorial.

$$\underline{E} = \underline{F}_{ref}$$

Impedanța de măsurat se determină prin relația:

$$\underline{Z} = R_x + jx = \frac{\underline{U}_z}{\underline{I}} = R_0 \frac{\underline{U}_z}{\underline{U}_{R0}} \quad (14)$$

Deci impedanța rezultă ca un raport a două mărimi complexe. Comparând cu schema canonică din figura 5 se identifică $\underline{U}_z = \underline{F}_1$ și $\underline{U}_{R0} = \underline{F}_2$. Fazorul de referință se poate alege tensiunea sursei de alimentare $\underline{E}$. Dar la fel de bine se poate alege orice altă tensiune sinusoidală, având aceeași frecvență cu semnalele $\underline{U}_z$ respectiv $\underline{U}_{R0}$. Componentele $a_1'$, $b_1'$ și $a_2'$, $b_2'$ ( vezi relația (10)) nu au semnificație fizică. Dar prin identificarea relațiilor (11) și (14) rezultă:

$$R_x = R_0 a$$
$$X = R_0 b$$

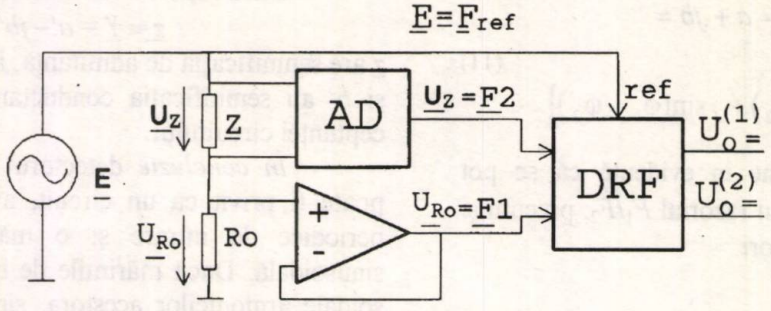



Fig. 7 Schemă de impedantmetru

De remarcat este faptul că schema nu implică necesitatea calibrării amplitudinii curentului sau a tensiunii de referință.

*Observație* Impedanțmetrul se poate realiza în varianta dată în lucrarea [M2]. În acest caz se pleacă de la relația:

$$U_z = \underline{IZ} = \frac{1}{R_0}\underline{U_{R0}}\left(R_x + jX\right) \qquad (16)$$

Componentele impedanței $R_x$ şi $X$ se determină ca mărimi de ieşire a două detectoare sincrone în cuadratură, având ca tensiune de referință tensiunea $U_{R0}$ (respectiv curentul $I$ care parcurge impedanța $Z$). Rezultă necesitatea calibrării amplitudinii curentului pentru fiecare măsurare, operație delicată şi incomodă.

*ANEXA A*

**Analiza funcționării unui detector sincron prin choppare**

Considerăm detectorul sincron prin choppare, ilustrat prin figura 3*a*. În continuare se va face analiza în domeniul frecvență, ignorând prezența amplificatoprului selectiv de la intrare.

Aplicând transformata Fourier semnalul $v_p(t)$ se obține [P1],[S1]:

$$V_p(f) = \mathcal{F}\left\{v_p(t)\right\} = \mathcal{F}\left\{v_x(t)\cdot s_c(t)\right\} = \\ = V_x(f) * S_c(f) \qquad (A.1)$$

unde:

$$V_x(f)\mathcal{F}\left\{v_x(t)\right\};\ S_c(f) = \mathcal{F}\left\{s_c(t)\right\} \qquad (A.2)$$

Dacă $G(f)$ este caracteristica de transfer a *FRJ* atunci

$$\overline{V}_p(f) = V_p(f)\cdot G(f) \qquad (A.3)$$

Pentru uşurință, considerăm mai întâi cazul multiplicării analogice a două semnale sinusoidale. Deoarece :

$$\mathcal{F}\left\{A\cos\left(2\pi f_0 t - \varphi\right)\right\} = \\ = \frac{A}{2}\left[\delta(f+f_0)e^{j\varphi} + \delta(f-f_0)e^{-j\varphi}\right]$$

se obține

$$V_p(f) = \mathcal{F}\left\{v_x(t)\right\} * \mathcal{F}\left\{x_r(t)\right\}$$

După înlocuiri se obține:

$$V_p(f) = \frac{1}{4}V_x X_r\left[\delta(f+f_x)e^{j\varphi} + \delta(f-f_x)e^{-j\varphi}\right] * \\ * \left[\delta(f+f_r)e^{-j\varphi_r} + \delta(f-f_r)e^{-j\varphi_r}\right] \qquad (A.4)$$

Ținând cont de identitatea

$$\delta(f-f_x) * \delta(f-f_r) = \delta(f-f_x-f_r)$$

se obține

$$V_p(f) = \frac{1}{4}V_x X_r\left[\delta(f+f_r+f_x)e^{j(\varphi-\varphi_r)} + \right. \\ +\delta(f)e^{j(\varphi_r-\varphi)} + \delta(f)e^{-j(\varphi_r-\varphi)} + \qquad (A.5) \\ \left. +\delta(f-f_r-f_x)e^{-j(\varphi+\varphi_r)}\right]$$

Funcția de transfer a filtrului trece jos ideal are ecuația

$$G(f) = \begin{cases} 1, \text{ dacă} & f = o \\ 0, \text{ dacă} & f \geq (f_r + f_x) \end{cases} \qquad (A.6)$$

Considerăm $f_x = f_r$ – cazul de sincronism.

$$\overline{V_p}(f) = \frac{1}{4}V_x X_r\left[\delta(f)e^{j(\varphi-\varphi_r)} + \right. \\ \left. +\delta(f)e^{-j(\varphi-\varphi_r)}\right] = \qquad (A.7)$$

$$= \frac{1}{2}V_x X_r \delta(f)\cos(\varphi-\varphi_r)$$

Relația de mai sus arată că în urma detecției sincrone prin multiplicare analogică are loc translatarea în origine a componentei spectrale a semnalului de intrare.

Considerăm în continuare cazul în care semnalul de intrare $v_x$ este alternativ nesinusoidal

$$v_x(t) = \sum_1^{\infty} V_{xn}\cos\left(n2\pi f_x t - \varphi_n\right) \qquad (A.8)$$

Imaginea în planul frecvenței a semnalului $v_p(t)$ este

$$V_p(f)=V_x(f)*S_c(f) \qquad \textbf{(A.9)}$$

în care

$$S_c(f)=\mathcal{F}\{s_c(t)\}$$

$$V_x(f)=\frac{1}{2}\sum_{1}^{\infty}V_{xn}\left[\delta(f+nf_x)e^{j\varphi_n}+\right. \qquad \textbf{(A.10)}$$
$$\left.+\delta(f-nf_x)e^{-j\varphi_n}\right]$$

După înlocuiri avem

$$V_p(f)=\frac{4}{\pi}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k}{2k+1}\{V_x(f+$$
$$+(2k+1)f_r)e^{j(2k+1)\varphi_r}+ \qquad \textbf{(A.11)}$$
$$+V_x(f-(2k+1)f_r)e^{-j(2k+1)\varphi_r}\}$$

şi în final

$$V_p(f)=\frac{4}{\pi}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k}{2k+1}\left\{\sum_{n=1}^{\infty}\left[V_{xn}\delta(f+nf_x+\right.\right.$$
$$+(2k+1)f_r)\cdot e^{j[(2k+1)\varphi_r-\varphi_n]}+ \qquad \textbf{(A.12)}$$
$$\left.\left.+\delta(f+nf_x-(2k+1)f_r)e^{-j[(2k+1)\varphi_r-\varphi_n]}\right]\right\}$$

Rezultă pentru: $nf_x=(2k+1)f_r$ o translaţie a componentelor spectrale în origine. În cazul $f_x=f_r$, sincronism, translatarea în origine se face pentru fiecare frecvenţă impară ($n=2k+1$).

$V^-(f)$ devine:

$$\overline{V_p}(f)=\frac{2}{\pi}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k}{2k+1}V_{x2k+1}\delta(f)\cdot \qquad \textbf{(A.13)}$$
$$\cdot\cos[\varphi_{2k+1}-(2k+1)\varphi_r]$$

Relaţia (A.13) conduce la următoarele concluzii:

– pentru obţinerea la ieşire a unui semnal care să înglobeze strict informaţia conţinută în amplitudinea sau faza armonicii de ordinul $(2k+1)$, este necesară inserarea de amplificatoare selective, pentru frecvenţele $(2k+1)f_x$.

– pentru $\psi_{2k+1}-(2k+1)\psi_r=0$, sensibilitatea detectorului sincron este maximă. În acest caz informaţia de măsurare este transmisă prin amplitudine;

– pentru $V_{x\ 2k+1}=$ constant, mesajul de măsurare de poate transmite prin fază.

*BIBLIOGRAFIE*


[G1] *Grabowski, B.*, Aide-memoire d'electronique, Bordas, Paris, 1982.

[G2] *Gilbert, W., Kustner, H., Hellwich, M. Kastner, H.*, Mica enciclopedie matematică (traducere din limba germană), Editura Tehnică ,Buc., 1975.

[L1] *Leskovar, B.*, "Generalized analysis of phase sensitive detection-circuit operating characteristics at the signal detection in the presence of noise", IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. IM-21, No.1, pp. 15-23, 1972.

[M1] *Mocanu, C.*, Teoria câmpului electromagnetic, E.D.P., Buc., 1981.

[M2] *Millea, A.*, Măsurări electrice. Principii şi metode, Editura Tehnică, Buc., 1980.

[M3] *Mateescu Adelaida, Stanomir, D.*, Probleme de analiza şi sinteza circuitelor, Editura Tehnică, Buc., 1976.

[P1] *Parate, P., A., Robert, P.*, Systemes de Mesure, Presses Polytechniq aux Romandes, Lausane, pp.177-120, 1986.

[S1] *Săvescu, M.*, Metode din analiza circuitelor electronice, Editura ştiinţifică şi enciclopedică, Buc., 1985.

[T1] *Timotin, Al., ş.a.*, Lecţii de bazele electrotehnicii, E.D.P., Buc.,1970.

[T2] *Todoran, G.*, "Contribuţii la dezvoltarea unor metode de investigare a permeabilităţii magnetice complexe la frecvenţe joase"., Teză de doctorat, Cluj-Napoca 1994.

[W1] *Wiener, U.*, Măsurarea mărimilor magnetice, Editura Tehnică, Buc., 1969.

[W2] *Waldron, R.A.*, Ferrites-principes et application en hyperfrequences, Dunod Paris, 1964.

[Z1] *Zijlstra, H.*, Experimental Method in Magnetism, Amsterdam, North Holland, pp. 133- 135, 1967.

# Cercetări privind etalonarea şi verificarea metrologică a traductoarelor de temperatură în intervalul 20K...273K

FĂNEL IACOBESCU*)

**Abstract:** *The importance of temperature control in cryogenic apparata crated the need for temperature measuring instruments with high metrological characteristics such as exactness, sensitivity, stability, etc. The research carried out at the Institute for Cryogeny and Isotopic Separations in Râmnicu Vâlcea led to the realization of equipment for the calibration and metrological verification of temperature transducers in the range 20 K...273 K.*

**Résumé:** *L'importance du contrôle de la température dans les installations cryogéniques a demandé des instruments de mesure pour la température avec des caractéristiques métrologiques élevées (exactitude, sensibilité, stabilité, etc.). Les recherches efectuées dans l'Institut de Cryogenie et Séparations Isotopiques de Râmnicu Vâlcea ont conduit à la réalisation d'une installation pour l'étalonnement et la vérification métrologique des capteurs de température dans l'interval 20 K...273 K)*

## Consideraţii generale

Necesitatea realizării controlate a temperaturilor din instalaţiile care funcţionează în regim criogenic a impus asigurarea cu mijloace de măsurare a temperaturii având caracteristici de performanţă metrologice (exactitate, sensibilitate, stabilitate etc) superioare. Cercetările efectuate la Institutul de Criogenie şi Separări Izotopice Râmnicu Vâlcea au condus la realizarea unei instalaţii pentru etalonarea şi verificarea metrologică a traductoarelor de temperatură, în intervalul 20K...273K.

## Termometrul cu gaz

Principala componentă a acestei instalaţii o constituie un *termometru cu gaz.* Din punct de vedere constructiv, termometrul cu gaz este realizat dintr-o incintă, numită bulb, umplută cu gaz de lucru a cărui natură depinde de cerinţele pe care trebuie să le îndeplinească termometrul. Ţinând seama de rezultatele studiilor teoretice [1] privind măsurările de temperatură în intervalul 20K...300K, s-a ajuns la concluzia că, pentru realizarea unor măsurări cu exactitate şi sensibilitate ridicată, cea mai bună variantă este aceea a termometrului cu gaz la volum constant. În acest caz, $T=f(p)$=const (1). Impunându-se ca termometrul să funcţioneze într-un interval larg de temperaturi, s-a ales ca gaz de lucru heliul, care are cele mai reduse valori critice pentru temperatură şi presiune ($T_{cr}$=5,2K; $p_{cr}$=2,26 atm).

## Principiul de funcţionare al instalaţiei

Elementele principale ale instalaţiei [3] din care fac parte termometrul cu gaz sunt (fig. 1):

– criostat cu sistem de reglare a temperaturii;
– circuit de măsurare a presiunii;
– circuite auxiliare de vidare.

În celula de măsurare a criostatului este introdus bulbul (termometrul propriu-zis).

Modul de realizare a *circuitului de măsurare* (fig. 1) presupune existenţa unui anumit volum de gaz aflat la temperatura mediului ambiant (diferită, de regulă, de temperatura care trebuie măsurată); acest volum depinde de elementele circuitului (manometru, conductă de legătură, robineţi etc.), existenţa sa impunând efectuarea unei corecţii de "volum mort".

Este necesară reducerea la minim a acestui volum şi a influenţei pe care ar avea-o la măsurarea presiunii. De asemenea, trebuie eliminate influenţele circuitului exterior de măsurare a presiunii asupra măsurării temperaturii. Pentru realizarea acestor cerinţe, între bulb şi circuitul de măsurare a presiunii s-a introdus un traductor de presiune diferenţială cu membrană $\Delta P_1$ având o incertitudine de măsurare de ±0,2 mbar. Acesta are rolul unui indicator de nul asigurând că presiunea din bulb este egală cu cea din incinta $I_1$.

Deci, măsurarea presiunii heliului din bulb se realizează indirect (prin măsurarea contrapresiunii generate de circuitul de măsurare a presiunii). Realizarea unei presiuni reglabile, în intervalul

*) Inspecţia Interjudeţeană de Metrologie Craiova

3 mbar...60 mbar, în incinta $I_1$, se face prin admisia, controlată, (cu robinetul de reglare $V_1$ şi capilarul $C_1$) a gazului de azot (obţinut prin vaporizarea azotului lichid) şi extragerea, controlată (cu robinetul de reglare $V_2$) a gazului de azot din incintă.

Măsurarea diferenţei de presiune dintre incintele $I_1$ şi $I_2$ (care este egală cu presiunea din bulb) se realizează cu traductorul de presiune diferenţială $\Delta P_2$. La priza "–" a acestui traductor se aplică presiunea din incinta $I_2$ iar la priza "+" presiunea (de măsurat) din incinta $I_1$. Incinta $I_2$ se află la o presiune de referinţă (mai mică de $2\times10^{-2}$mbar) realizată cu pompa turbomoleculară *PTM* în refularea căreia este o pompă de vid preliminar $PVP_2$.

Incertitudinea de determinare a presiunii este de $8{,}5\times10^{-2}$mbar. Realizarea vidului se obţine cu pompa de vid preliminar $PVP_3$ acţionând robinetele $R_2$ şi $R_3$. Introducerea heliului din butelia $I_3$ se realizează acţionând robinetele $R_7$ şi $R_8$ şi regulatorul de presiune $RP_2$; pentru eliminarea oricăror urme de umiditate, heliul se trece printr-o trapă de azot lichid. Pentru stabilirea unei presiuni date se acţionează robinetul de separare fără volum mort $V_{fvm}$

## Cercetări experimentale în intervalul de temperatură 20K...273K

În cele ce urmează se prezintă rezultatele determinărilor experimentale realizate pe ansamblul instalaţiei termometrului cu gaz. Cercetările s-au desfăşurat în două etape.

Într-o primă etapă s-a studiat stabilitatea în timp a presiunii de umplere a bulbului.

Experimentul s-a desfăşurat în următoarele condiţii iniţiale:

– s-a umplut bulbul termometric cu heliu la presiunea de 50,26 mbar şi temperatura de 273,25K;

– celula de măsură s-a vidat la o presiune mai mică de $10^{-3}$ mbar;

– temperatura s-a menţinut practic constantă (s-au permis variaţii de ± 0,3K) prin reglarea energiei introduse în rezistenţele de încălzire ale bulbului şi ecranului termic. S-au efectuat măsurări ale presiunii gazului din bulb la intervale regulate de timp, pe o perioadă de 48 ore, în care s-au făcut două treceri la temperatura hidrogenului lichid.

Presiunea în bulb s-a măsurat în mod indirect, prin măsurarea diferenţei de presiune dintre incinta $I_1$ în care se creează o presiune egală cu cea din bulb prin utilizarea unei surse de gaz (vapori $LN_2$), a unei pompe de vid preliminar ($PVP_1$), a capilarului $C_1$ şi a robineţilor de reglare $R_1$ şi $R_2$ şi incinta $I_2$ aflată la o presiune de referinţă, totdeauna mai mică de $2\cdot10^{-2}$ mbar, realizată cu pompa de vid $PVP_2$ (fig. 1.)

Egalitatea presiunii din incinta $I_1$ cu cea din bulb este asigurată de traductorul de presiune diferenţială $\Delta P_1$, utilizat ca indicator de nul, cu o exactitate de măsurare de ±0,1mbar.

Măsurarea diferenţei de presiune dintre cele două incinte se face cu un traductor de presiune diferenţială $\Delta P_2$ care asigură o exactitate de măsurare a presiunii de $8{,}5\cdot10^{-2}$mbar.

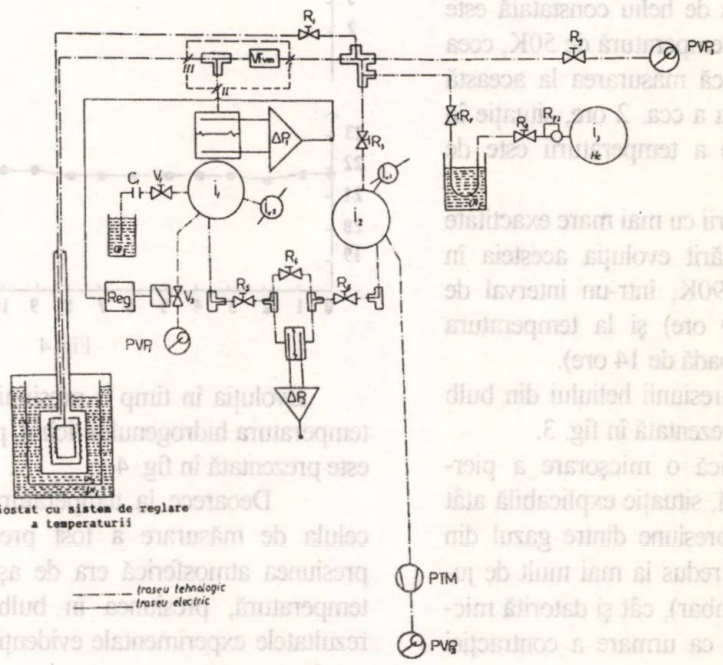



Fig. 1

Rezultatele determinărilor prezentate în graficul din figura 2 indică o micşorare în timp a presiunii de umplere.

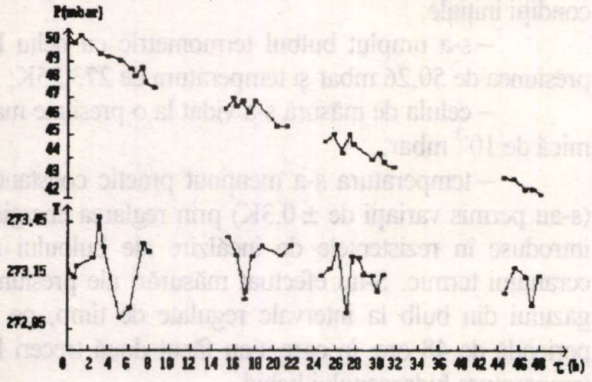



Fig. 2

Pentru a calcula rata pierderilor se poate utiliza ecuaţia gazelor perfecte cu aproximaţie mai bună de $2{,}1 \cdot 10^{-3}$ mbar (coeficientul virial de ordinul întâi al heliului are, la temperatura de 273K, valoarea $B(273)=512\times10^{-6}$ [2]).

Rezultă, pentru un interval de timp $\Delta\tau$ = 48ore (în care presiunea în bulbul de volum $V_B = 75{,}674\times10^{-6}\ m^3$ a scăzut cu $DP = 7{,}48$ mbari ) o rată a pierderilor de masă de:

$$\frac{\Delta m}{\Delta\tau}\Big|_{273K} = \Delta p \times \frac{\mu V_b}{\tau RT} = 0{,}56\times10^{-3}\ mg/s \quad (2)$$

Caracteristica termometrului cu gaz (în condiţiile: $T$ = 273,15K şi $P$ = 48,7 mbar) este reprezentată în fig. 2.

Rezultă că pierderea de heliu constatată este echivalentă cu o diferenţă de temperatură de 50K, ceea ce este inacceptabil chiar dacă măsurarea la această temperatură se face pe durata a cca. 2 ore, situaţie în care eroarea de determinare a temperaturii este de 2,1K.

În vederea determinării cu mai mare exactitate a ratei de pierderi s-a urmărit evoluţia acesteia în vecinătatea temperaturii de 90K, într-un interval de 0,7K (pe o perioadă de 10 ore) şi la temperatura hidrogenului lichid (pe o perioadă de 14 ore).

Evoluţia în timp a presiunii heliului din bulb la temperatura de 90K este prezentată în fig. 3.

Datele obţinute indică o micşorare a pierderilor la această temperatură, situaţie explicabilă atât prin faptul că diferenţa de presiune dintre gazul din bulb şi celula de măsură s-a redus la mai mult de jumătate (18 mbar faţă de 50 mbar), cât şi datorită micşorării dimensiunilor porului ca urmare a contracţiei termice.

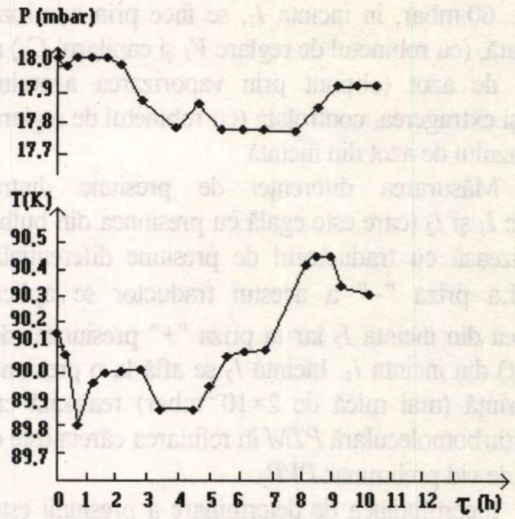



Fig. 3

Rata pierderilor la o scădere a presiunii din bulb cu $\Delta P$ = 0,2 mbar , într-un interval de timp de 10 ore, este:

$$\frac{\Delta m}{\Delta\tau}\Big|_{90K} = 1{,}8\times10^{4}\ mg/s \quad (3)$$

Pierderile de heliu la temperatura de 90K, pe durata de 10 ore, echivalează cu o eroare în determinarea temperaturii de 0,96K (considerând că măsurarea pe punct se face pe parcursul a două ore cu 0,2K).

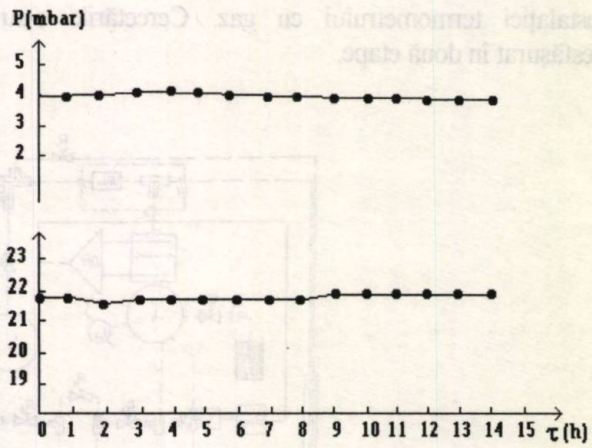



Fig. 4

Evoluţia în timp a presiunii heliului din bulb la temperatura hidrogenului lichid, pe o durată de 14 ore, este prezentată în fig. 4.

Deoarece la temperatura hidrogenului lichid celula de măsurare a fost presurizată cu heliu la presiunea atmosferică era de aşteptat ca, la această temperatură, presiunea în bulb să crească; totuşi, rezultatele experimentale evidenţiază faptul că aceasta rămâne constantă.

Din datele prezentate rezultă că influența pierderilor este semnificativă la temperaturi ridicate; în acest caz trebuie luate măsuri de eliminare a pierderilor.

Experimentul a continuat cu cea de-a doua etapă, aceea a reglajului temperaturii între 20K şi 273,15K, cu stabilirea pe anumite puncte fixe, în care se fac măsurări de presiune şi temperatură, în următoarele condiții:

– intervalul de timp pentru un ciclu de măsurare (reglaj de temperatură între 20K şi 273,15K) nu va depăşi 16 ore;

– la începutul fiecărui ciclu ($T$ = 273,15K) se va face corecția pierderilor de heliu survenite până la momentul respectiv prin calcularea coeficientului de umplere şi trasarea caracteristicii termometrului cu gaz (considerând că s-a realizat o nouă umplere la presiunea măsurată la începutul ciclului).

În aceste condiții, deoarece presiunea existentă în bulb (la începutul fiecărui ciclu de măsurări) a fost considerată presiune de umplere, s-au făcut completări cu heliu când presiunea a scăzut prea mult (astfel încât presiunea de umplere să se situeze în vecinătatea valorii de 50 mbar).

Datele experimentale obținute pe parcursul a şase cicluri de măsurare se prezintă în graficul din fig. 5.

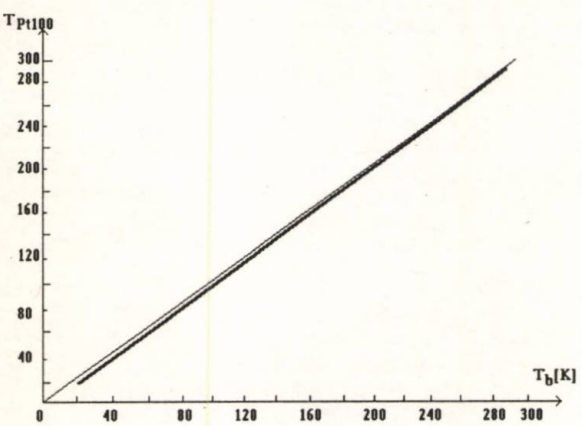



Fig. 5

## Analiza erorilor de măsurare

Eroarea de determinare a presiunii $P_b$ este dată de suma erorilor introduse de traductoarele de presiune diferențială şi presiunea de referință:

$$\varepsilon_{Pb} = \varepsilon_{\Delta P_1} + \varepsilon_{\Delta P_2} + \varepsilon_{Ref} = \\ = \pm 0{,}1 \pm 0{,}085 \pm 0{,}02 \text{ (mbar)} \quad (4)$$

În situația cea mai defavorabilă, aceste erori se însumează rezultând eroarea totală maximă de determinare a presiunii:

$$\varepsilon_{Pb} = \pm 0{,}205 \text{ mbar} \quad (5)$$

Temperatura $T_b$ reprezintă temperatura determinată din caracteristica termometrului cu gaz, corespunzătoare presiunii măsurate.

Din analiza surselor de erori rezultă că eroarea de măsurare a temperaturii $T_b$ este dată, în principal, de erorile introduse la măsurarea presiunii.

În cazul studiat, o eroare în măsurarea presiunii de ± 0,205 mbar conduce la următoarele erori în determinarea temperaturii (caracteristica termometrului nu este liniară):

| $T_b$[K] | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\varepsilon_{Tb}$[K] | ±0,95 | ±0,97 | ±0,99 | ±1,01 | ±1,02 | ±1,04 | ±1,06 |
| $Tb$[K] | 90 | 123,15 | 173,15 | 223,15 | 273,15 | | 323,15 |
| $\varepsilon_{Tb}$[K] | ±1,07 | ±1,11 | ±1,18 | ±1,27 | ±1,37 | | ±1,50 |

Temperatura în interiorul masei termice a bulbului se măsoară cu o termorezistență Pt100 care a fost etalonată prin trasarea caracteristicii, utilizând două puncte fixe (77K şi 273,15K), cu o eroare de etalonare de ± 0,15K. Fie $T_{Pt100}$ valoarea acestei temperaturi.

Eroarea de măsurare a rezistenței Pt100 este dată de suma erorilor introduse de instrumentele de măsurare pentru tensiune-milivoltmetru ($\varepsilon_U = \pm 0{,}1$ mV) şi curent-multimetru ($\varepsilon_I = \pm 0{,}01$ mA); în cazul cel mai defavorabil, la valoarea minimă a rezistenței Pt100 (care se înregistrează la temperatura hidrogenului lichid şi este de ordinul a 0,5 Ω) eroarea este $\pm 3 \times 10^{-4}$ Ω, care echivalează cu ± 0,07 K.

Rezultă o eroare absolută în determinarea temperaturii $T_{pt100}$, $\varepsilon_{T_{Pt100}} = \pm 0{,}22$K.

În cazul ideal, caracteristica $T_{Pt100} = f(T_b)$ ar trebui să fie reprezentată de bisectoarea primului cadran.

Practic, caracteristica rezultată face cu bisectoarea un unghi de $2{,}95 \times 10^{-3}$ rad şi taie axa absciselor în punctul de coordonate (4,9886;0).

Înclinarea ei se explică prin aceea că pierderile de heliu a căror compensare integrală nu s-a reuşit, acționează în sensul micşorării temperaturii $T_b$ cu atât mai mult cu cât $T_b$ este mai mare (la temperatura hidrogenului lichid nu se manifestă).

## Concluzii

Analizând panta caracteristicii experimentale a termometrului cu gaz pe diferitele intervale de temperatură, comparativ cu panta calculată conform

caracteristicii teoretice se obţin datele cuprinse în tabelul de mai jos:

| Interval de temperatură | Sensibilitate [mbar/K] | |
|---|---|---|
| | Teoretică | Experimentală |
| 20K - 70K | 0,204 | 0,200 |
| 70K - 123K | 0,186 | 0,185 |
| 123K - 173K | 0,173 | 0,171 |
| 173K - 223K | 0,161 | 0,160 |
| 223K - 273K | 0,150 | 0,149 |

Rezultă că termometrul cu gaz realizat respectă modelul teoretic pe întreg intervalul temperaturilor de lucru. Din datele experimentale prezentate rezultă de asemenea reproductibilitatea caracteristicii experimentale a termometrului în timp şi la diferite presiuni de umplere.

Instalaţia experimentală a putut fi controlată şi reglată pe întreaga durată a experimentului.

*BIBLIOGRAFIE*

[1] *Bedin E, Doulat J* , Termometru cu gaz la volum constant pentru temperaturi joase 4K...300K. Centrul de studii nucleare din Grenoble.

[2] *Diamond J.H, Smith E.B* , Coeficienţi viriali ai amestecurilor de gaze pure, Ed. Oxford (1980).

[3] *Iacobescu F* , Unele consideraţiuni asupra unor probleme experimentale, de proiectare şi teoretice, referitoare la o incintă criogenică şi la studiul unor mărimi magnetice asociate circuitelor electrice funcţionând la temperaturi scăzute - universitatea din Craiova (1996).

[4] *** - Proiect de execuţie al standului de verificare a traductorilor de temperatură în domeniul 20K...300K - Uzina "G" (1991).

## INFORMAŢII

# Ghidul WELMEC al metrologiei legale în Europa

Lucrarea de 142 pagini, intitulată *"European Legal Metrology Directory"*, a fost editată de organizaţia britanică LACOTS ("Local Authorities Coordinating Body on Food and Trading Standards"). Ea conţine următoarele date:

- scurtă prezentare a ţării,
- structura organizatorică a metrologiei,
- categorii de mijloace de măsurare (MM) supuse controlului de stat,
- aprobarea de model,
- verificarea iniţială,
- inspecţia şi reverificarea,
- personalul metrologiei legale,
- sancţiuni,
- directiva 90/384 EEC,
- puncte de contact,

pentru cele 18 ţări membre ale WELMEC (Cooperarea Europeană în Metrologia Legală): Austria, Belgia, Danemarca, Elveţia, Finlanda, Franţa, Germania, Grecia, Irlanda, Islanda, Italia, Luxemburg, Marea Britanie, Norvegia, Olanda, Portugalia, Spania, Suedia.

Răsfoind ghidul, se pot face câteva constatări interesante, prima dintre ele fiind diversitatea structurilor, reglementărilor şi practicilor în domeniul metrologiei, menţionate pentru fiecare ţară în parte.

În 10 din cele 18 ţări există o singură instituţie centrală de metrologie, care include în atribuţiile sale metrologia fundamentală (etaloanele naţionale), metrologia aplicată (servicii de etalonare) şi metrologia legală (încercări/aprobări de model, verificări); cele mai reprezentative dintre acestea sunt Austria, Belgia, Elveţia, Germania, Spania. In Olanda, deşi există o singură instituţie metrologică centrală (NMI, *Institutul Olandez de Metrologie*), el este compus din patru compartimente separate, autonome şi cu atribuţii distincte:

- NMI *Van Swinden Laboratorium*: etaloane naţionale, etalonări la nivelul cel mai înalt;
- NMI *Ijkwezen*: metrologie legală;
- NMI *Certin*: încercări şi aprobări de model, verificări, certificarea sistemelor de calitate în industrie;
- NMI *Test-en-Adviescentrum*: consultanţă, servicii de etalonare, pregătire profesională.

În celelalte 8 state activitatea de metrologie este împărţită între un institut (sau un grup de institute) deţinător/utilizator al etaloanelor naţionale, şi un organism de metrologie legală. Aceste instituţii au între ele legături strânse (de ex. în Marea Britanie) sau, dimpotrivă, au relaţii sporadice şi subordonări diferite (Franţa, Italia, Danemarca).

Organismele de metrologie legală sunt de regulă instituţii guvernamentale, aparţinând administraţiei de stat (bugetare). In ce priveşte institutele de metrologie fundamentală şi cele "globale", la acestea se observă o tendinţă de transformare în societăţi comerciale, de regulă cu capital de stat (Olanda), sau exploatate de o societate comercială privată (Marea Britanie).

Lista categoriilor de MM reglementate (supuse controlului metrologic al statului) este şi ea diferită în cele 18 state. MM din domeniile lungimi (numai măsuri şi aparate simple), mase şi fluide sunt practic singurele prezente în legislaţia tuturor acestor ţări. Alte domenii, ca cel al aparatelor medicale, al aparatelor utilizate în controlul mediului şi al celor din traficul rutier apar în listele oficiale ale unor ţări ca Austria, Germania (cele mai complete), Franţa, Elveţia, Marea Britanie şi altele. In unele ţări figurează pe lista MM reglementate şi categorii ca: maşini pentru jocuri de noroc (Olanda, Elveţia), standuri pentru determinarea forţei de frânare la autovehicule (Olanda), refractometre pentru determinarea conţinutului de zahăr în mustul de struguri (Franţa, Elveţia), ceasuri de parcare (Portugalia), aparate pentru măsurat dimensiunile plaselor de pescuit (Danemarca).

Pentru efectuarea încercărilor în vederea aprobării de model, în majoritatea ţărilor este desemnată o singură instituţie. In unele ţări se admite, în special în cazul unor tipuri speciale de MM, şi încercarea în alte laboratoare, autorizate sau acreditate (Danemarca, Elveţia, Italia, Marea Britanie). Pentru efectuarea încercărilor de model, în unele ţări se percep taxe stabilite oficial (Belgia, Finlanda, Franţa, Grecia, Norvegia, Olanda), iar în altele beneficiarul trebuie să achite contravaloarea lucrării, pe bază de deviz individual (Danemarca, Elveţia, Germania, Marea Britanie, Portugalia, Suedia) sau pe bază de tarif orar (Austria). In Spania costul încercării de model se stabileşte în funcţie de preţul de vânzare pe piaţă al produsului.

Verificarea MM se face, în majoritatea celor 18 ţări, în laboratoare sau centre (oficii) de verificare răspândite pe teritoriul ţării. In unele ţări, acestea sunt puternic descentralizate, aparţinând autorităţilor regionale sau locale (Germania, Elveţia, Franţa, Grecia, Irlanda, Marea Britanie, Portugalia). Taxele de verificare sunt stabilite, în majoritatea ţărilor, prin hotărâri de guvern sau ale instituţiei de metrologie legală; în unele ţări se practică tarife de verificare echivalente cu costul efectiv al lucrării (Danemarca, Marea Britanie, Suedia). Termenele de reverificare variază mult de la o ţară la alta; de exemplu, greutăţile uzuale (de lucru) se verifică la 1 an în Franţa, Irlanda, Portugalia, la 4 ani în Belgia, Danemarca, Elveţia, Germania, Suedia şi la 10 ani în Islanda; contoarele de apă rece la 5 ani în Austria şi la 16 ani în Belgia; pompele de carburant la 1 an în Belgia, Danemarca, Franţa etc., la 2 ani în Finlanda, Germania, Italia etc. şi la 3 ani în Luxemburg. Nu există perioade obligatorii de reverificare în Marea Britanie şi în Spania.

Ghidul oferă cifre edificatoare şi în legătură cu rata de respingere la verificare (pentru anii 1992-1993) a unor categorii de MM reglementate. Acestea se întind de la valori mici, ca cele comunicate de Belgia (aparate de cântărit neautomate: 2,7%; pompe de carburant 4%), până la altele relativ mari, ca de exemplu cele pentru Olanda (aparate de cântărit neautomate: 10%; pompe de carburant: 18,6%) sau Portugalia (15%, respectiv 31% pentru aceleaşi categorii de MM).

Este de asemenea interesant faptul că, pentru MM în utilizare, criteriul de respingere la verificările periodice, în unele ţări, este depăşirea *emt*=eroarea maximă tolerată (Finlanda, Islanda, Italia, Spania), iar în altele a dublului *emt* (Austria, Belgia, Germania, Grecia, Marea Britanie, Portugalia, Suedia); există şi ţări în care la unele tipuri de MM se aplică primul din aceste criterii, şi la altele al doilea.

În Norvegia se practică următorul procedeu: dacă la verificarea unui MM eroarea constatată este între 2×emt şi 3×emt, inspectorul cere repararea MM în termen de 1..3 luni, după care se execută o reverificare; dacă eroarea constatată este mai mare decât 3×emt respectivul MM este sigilat.

În Olanda inspectorii utilizează un sistem de etichete colorate: eticheta verde se aplică pe MM admise la verificare; eticheta galbenă, cu caracter de avertizare, se aplică (într-un loc invizibil pentru cumpărător) pe MM din comerţ găsite necorespunzătoare, care vor trebui reparate în termen de 2 luni; eticheta roşie se aplică (într-un loc vizibil) pe MM care nu au fost reparate în termen.

Nu în toate cele 18 ţări membre ale WELMEC există sancţiuni administrative pentru abaterile de la reglementările metrologice. In unele ţări inspectorii pot da doar avertismente verbale (Austria, Norvegia, Suedia) sau scrise (Danemarca, Franţa, Elveţia, Irlanda, Marea Britanie, Olanda). In alte ţări inspectorii pot aplica amenzi, pot interzice utilizarea unui MM sau îl pot confisca. In Portugalia amenda este de 10 ori taxa de verificare plus o sumă care depinde de gravitatea abaterii. In Spania contravenţiile de natură metrologică sunt clasificate, în funcţie de consecinţele abaterii (risc pentru sănătate, daune sociale, beneficiu ilegal realizat, gradul de intenţie, antecedente), în minore, grave şi foarte grave; amenzile corespunzătoare sunt până la 3000 ECU, 12 000 ECU şi respectiv 60 000 ECU. In schimb, în toate cele 18 ţări sunt prevăzute prin lege sancţiuni pentru nerespectarea prevederilor privind măsurările de interes public, atunci când acestea au caracter de infracţiuni; sancţiunile sunt aplicate numai în urma unor hotărâri judecătoreşti.

*A.M.*

# International Workshop on Detector Based UV Radiometry - PTB-Berlin 1997

Aflat la a doua ediţie (prima desfăşurată în 1994 cu ocazia congresului **NEWRAD 94**, tot la Berlin) este, fără îndoială, evenimentul major pe plan mondial în domeniul radiometriei UV, domeniu aflat într-o dezvoltare explozivă. Aplicaţiile directe sau indirecte depăşesc însă cu mult problematica radiometriei UV. Suficient să menţionăm că metodele şi tehnicile de lucru sunt similare, în bună măsură, cu cele aplicate în radio-fotometrie (radiometre criogenice utilizate ca etaloane primare, fotodiode cu siliciu, dar nu numai, utilizate ca etaloane de transfer). Alte aplicaţii interferă substanţial cu termodinamica radiometrică, un domeniu, de asemenea în plină dezvoltare.

Dr. *Pieter Bloembergen*, Raportor EUROMET pentru Radiometrie şi Fotometrie a schiţat, încă din debutul lucrărilor, locul şi importanţa radiometriei UV în programele EUROMET ca fiind majore. Aplicaţiile vizează domenii ce se întind de la cercetarea spaţială şi militară până la medicină şi industria alimentară.

Scopul, declarat de organizatori, de a se face un tur de orizont al actualelor necesităţi şi tendinţe în domeniul radiometriei UV, cu accentul pe scările de ierarhizare bazate pe radiometre (care au deja un potenţial recunoscut superior faţă de scările anterioare bazate pe surse) a fost nu numai atins ci mult depăşit.

Forma de desfăşurare a fost una modernă, interactivă, mult mai apropiată de seminar sau colocviu decât de lectura clasică. Pe marginea lucrărilor majore, prezentate în plen de reprezentanţii marilor laboratoare de cercetare (PTB, NIST, NPL etc.) s-au purtat apoi ample discuţii în care au fost implicaţi şi ceilalţi participanţi, în funcţie de contribuţiile respective.

Aceste dezbateri colocviale au continuat în timpul vizitelor alternative în laboratoarele PTB, într-o atmosferă stimulativă creată de posibilitatea raportării directe la aparatura existentă şi experimentele în curs, unele dintre ele raportate în cadrul lucrărilor.

În acastă ediţie, discuţiile au fost structurate pe mai multe secţiuni majore, cu evidente şi fructuoase interferenţe: stadiul şi necesităţile radiometriei UV bazate pe receptoare; facilităţi (instalaţii) de etalonare; receptoare de transfer; radiometre cu filtre; receptoare pentru aplicaţiii speciale şi scări de iradianţă. Toate, evident cu referire la domeniul UV, de la câţiva la peste 400 nm. Fiecare secţiune a fost marcată de importante comunicări ale celor mai importante personalităţi şi laboratoare de specialitate: dr. *Hans Rabus* din partea PTB cu lucrări axate pe radiometria UV utilizând radiaţie sincrotron provenită din inelul de stocare a electronilor BESSY din Berlin, dr. *Nigel P. Fox* din partea NPL cu contribuţii privind radiometrele cu filtre şi un nou tip de receptor pentru UV (diamant dopat), dr. *Ambler Thompson* din partea NIST cu o contribuţie privind realizarea scării de iradianţă spectrală în UV la NIST, dr. *Errki Ikonen* din partea HUT cu o contribuţie privind utilizarea receptoarelor tip capcană pentru calibrarea radiometrelor solare UV.

Un punct de maxim interes al atelierului l-a constituit prezentarea laboratoarelor PTB.

Au fost vizitate şi amplu prezentate laboratoarele de radiometrie bazată pe surse tip Corp Negru (unde temperatura termodinamică în intervalul 900 K...1300 K poate fi reprezentată prin metode radiometrice cu o incertitudine mai redusă decât cea a SIT 90 şi anumite corecţii au fost deja stabilite), laboratorul de radiometrie bazată pe radiometre criogenice etalon primar cu măsurare în fascicul laser ultrastabilizat (cu incertitudini <0,01 %) şi, în ultima zi, laboratorul de pe lângă inelul de stocare a electronilor BESSY unde se desfăşoară două mari categorii de lucrări: radiometrie bazată pe radiaţie electromagnetică sincrotron ca sursă etalon primar (calculabilă cu incertitudini <0,8 %), şi radiometrie bazată pe radiometre criogenice ca etaloane primare. Puterile mult mai reduse ale surselor de radiaţii în UV în raport cu sursele laser disponibile pentru $\lambda$>300 nm (câţiva microwaţi, faţă de câţiva miliwaţi) conduc, evident, la incertitudini cu unul, două ordine de mărime mai mari decât în vizibil. Instalaţiile utilizate, deşi principial similare sunt de o complexitate şi fineţe mult mai mari decât cele utilizate pentru măsurare în fascicul laser.

Demonstraţii sugestive au fost făcute în unele cazuri iar accesul la informaţie a fost practic nelimitat. După toate probabilităţile, laboratoarele PTB reprezintă cea mai importantă concentrare de aparatură radiometrică de vârf iar lucrările desfăşurate în aceste laboratoare se plasează în avangarda cercetării în domeniu. Cel puţin patru radiometre criogenice, în diferite instalaţii, cu diferite sarcini specifice, sunt operaţionale, cele din ultima generaţie, de concepţie proprie PTB depăşind ca amploare şi performanţe tot ce se poate concepe ca aparatură comercială disponibilă, până nu demult visul oricărui cercetător din domeniu.

În concluzie, participarea prilejuită de acceptul în programul reuniunii a unei contribuţii din partea laboratorului Mărimi Optice al INM (ESR based radiometric scale for the 300 nm...400 nm range), a permis o luare de contact extrem de instructuvă şi utilă cu stadiul radiometriei pe plan mondial, precum şi stabilirea unor contacte importante pentru viitorul sistemului de etaloane de referinţă ale INM.

*MIHAI SIMIONESCU*

EDITURA TEHNICĂ vă propune

**HŰTTE. Manualul inginerului**

şi

**Dicţionar tehnic englez - român.**

ORSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONT ÉS KÖNYVTÁR
1883

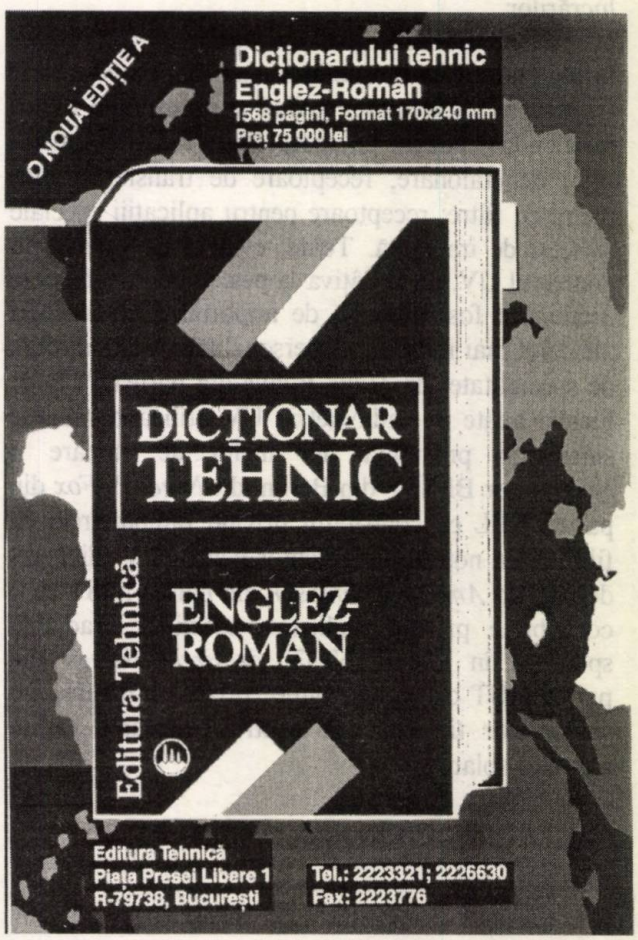
Tirajul fiind limitat, vă veţi procura volumele sigur şi uşor trimiţând comenzi pe adresa:

Editura Tehnică: Piaţa Presei Libere nr.1, R - 71341 Bucureşti.

Tel.2223321 ,2226630

Fax. 2223776

Exemplarele comandate se expediază prin poştă cu plata ramburs.



## CENTRUL INTERNAȚIONAL DE PROMOVARE
## SALA PALATULUI

organizează, în colaborare cu Biroul Român de Metrologie Legală,
cea de a II-a ediție a expoziției internaționale specializate

# AMCOR ' 97

**Bucureşti, Sala Palatului**
**16 – 19 septembrie**

Firmele participante la această expoziție produc sau
comercializează aparate de măsură şi control cu aplicabilitate
în toate domeniile de activitate.
**Şi Dvs. puteți deveni expozant,** dacă doriți ca cei
aproximativ 2000 de specialişti vizitatori să devină clienții
firmei Dvs., în numai 4 zile !
**Înscrierile se fac până la data de 2 septembrie,**
la telefon 311.11.99 - număr direct, 615.97.10/533 sau fax 311.11.49.

**C.I.P. vă aşteaptă cu o ofertă atractivă !**

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖZPONT ÉS KÖNYVTÁR 1883

# COREMI

**PROD. Aparate Electronice de Măsură şi Industriale**

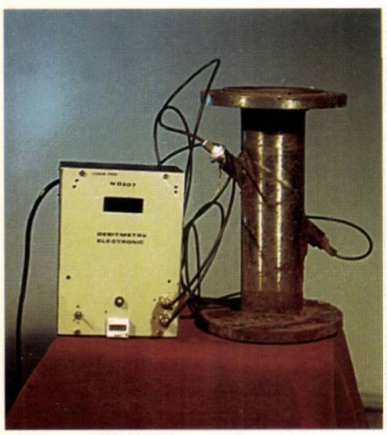
*Cal. Griviței Nr. 355, Sect. 1, Bucureşti,*
*Tel: 6.65.47.35; 6.65.50.90/483, Fax: 6.66.35.48*

## WATTMETRU DIGITAL / MEGAWATTMETRU E 0319

Se foloseşte la: măsurarea cu precizie a puterii electrice debitate sau consumate şi contorizarea energiei electrice; verificarea şi etalonarea contoarelor cu energie electrică etc.

Se fixează în două variante: monofazat sau trifazat şi poate fi prevăzut (la cerere) cu contor de energie electrică. Puterea electrică este afişată cu 4 1/2 cifre, iar contorul are rezoluție selectabilă. Caracteristicile tehnice (secund trafo): *domeniul de curenți: (0...5) A pe fiecare fază; *scări de tensiune: (100 V/57,7 V) 380 V/220 V; *eroare de măsurare (max.): ± 0,12 % ct ± 0,03 % cs; *frecvența de lucru: 50 Hz. Poate furniza date pentru calculator (opțional).

Termenul de garanție este de 3 ani.



## DEBITMETRU / CONTOR CU ULTRASUNETE N 0207

Este destinat măsurării şi contorizării debitelor lichidelor: apă, produse petroliere etc., în conducte cu diametre $D_n$ (50...1500) mm.

Asigură precizie şi stabilitate ridicate şi este prevăzut cu cuarț.

Caracteristici tehnice: debitul minim (la $D_n$ min): 0,5 $m^3/h$, debitul maxim (la $D_n$ max.): 7400 $m^3/h$. La cerere se poate livra şi "Aparat pentru verificarea şi etalonarea debitmetrelor ultrasonice".

## MILIOHMMETRU / REZISTIVIMETRU DIGITAL E 0342

Este destinat măsurării rezistenței electrice a barelor metalice, cablurilor, sârmelor etc. Măsoară prin metoda de măsurare cu patru fire: *domeniu de măsurare: 10 μΩ...2000 Ω; *rezoluție maximă: 10 μΩ; *curentul de măsurare: maximum 1 A; *eroare de măsurare: maximum ± 0,02 % ct ± 0,03% sc.

Termen de garanție: 3 ani.

## CÂNTARE ELECTRONICE tip PLATFORMĂ

Sunt realizate pe bază de doze de forță selectate în concordanță cu domeniul şi destinația cântarului. Pentru varianta auto, sistemul conține câte 4 doze amplasate sub fiecare pod (platformă). Mărimea măsurată este afişată numeric pe panoul aparatului, iar, în condițiile cuplării la calculator şi imprimantă, permite redactarea facturii. Domeniul de masă: (0...50) tone (25 tone/platformă) sau (0...150) tone. Eroare maximă de măsurare a echipamentului electronic: ± 0,05 %.

## SISTEME COMPLEXE PENTRU MĂSURAREA, MEMORAREA ŞI URMĂRIREA PARAMETRILOR ÎNTR-O SECȚIE SAU UZINĂ

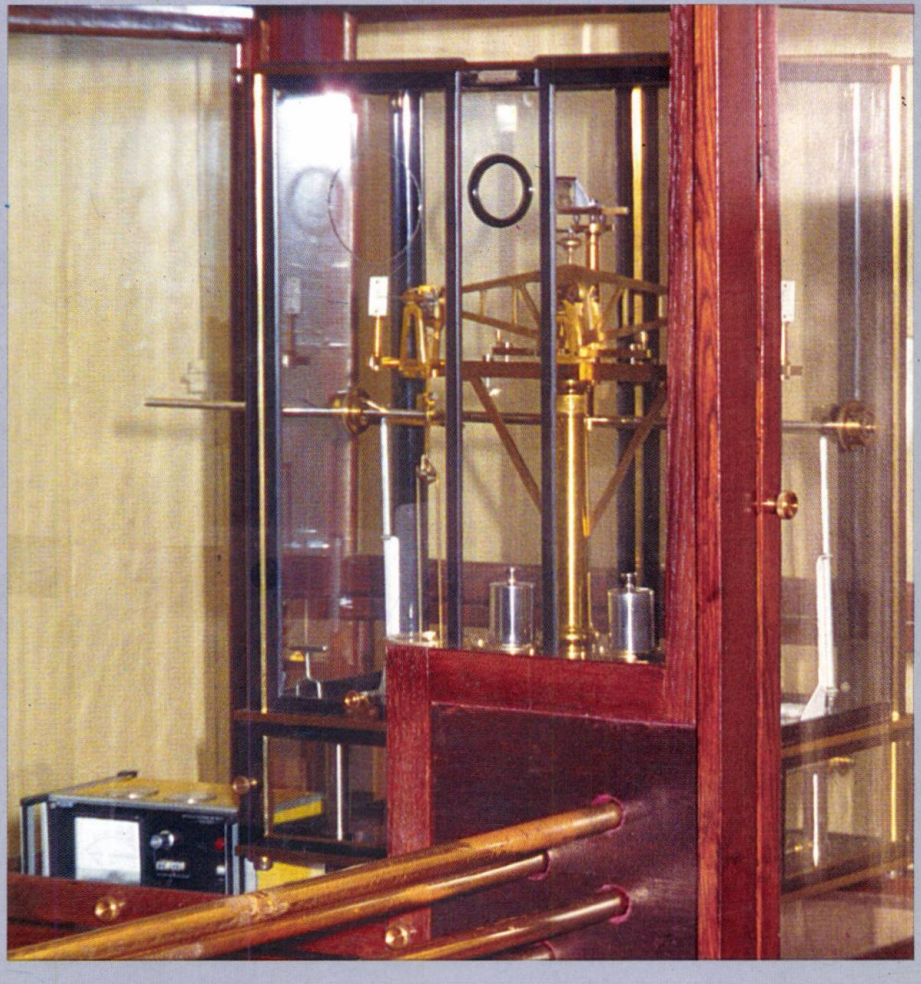
Sunt măsurați în regim permanent diferiți parametri, printre care: debitul de lichid sau gaz, temperatură, presiune, consum de energie electrică, timp de funcționare al maşinilor electrice etc. Informația analogică este convertită în digital, transmisă la distanță şi memorată. Datele pot fi furnizate unui calculator care, în baza unui program, poate stoca şi prelucra informația.

E8225
FF
8 000000 490759

INM Nr 2/1997

MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONT ÉS KÖNYVTÁR 1853

# metrologie



**SUMMARY**

*ADALBERT SZAKÁTS*: Determining the values of the fundamental physical constants using adjustment methods ..... 34

*ELENA BORDESCU, VIOLETA PANTILIE*: The least squares method applied to the comparison of the groups of standards ..... 45

*AVRAM HELER, I. VETREŞ, ŞT. HĂRĂGUŞ*: Hall devices for verifying and determining the number of turns of electric coils ..... 52

*NECULAI MOISOI*: Method for determining the compressibility coefficient of liquids ..... 56

**INFORMATION**

**SOMMAIRE**

*ADALBERT SZAKÁTS*: La détérmination de valeurs des constantes physiques fondamentaux par des méthodes d'ajustement ..... 34

*ELENA BORDESCU, VIOLETA PANTILIE*: La méthode des moindres carrées appliquée pour la comparaison des groups d'étalons ..... 45

*AVRAM HELER, I. VETREŞ, ŞT. HĂRĂGUŞ*: Des dispositifs à capteur Hall pour la vérification et la detérmination du nombre de spires des bobines électriques ..... 52

*NECULAI MOISOI*: Méthode pour detérminer le coefficient de compréssion des liquides ..... 56

**INFORMATIONS**



REDACŢIA

INSTITUTUL NAŢIONAL DE METROLOGIE

Şos. Vitan-Bârzeşti ne. 11, sector 4, tel. 6342060
şi 6344030/191; Bucureşti; 75669

ISSN 1200-546 X

EDIŢIE REALIZATĂ SUB ÎNGRIJIREA

**Editurii Tehnice**

Piaţa Presei Libere 1, sector 1, Bucureşti, cod poştal 71341,
tel. 222.66.30, fax 222.37.76

Cererile pentru abonamente vor fi adresate Editurii Tehnice, Biroul de comenzi şi desfacere, Bucureşti,
str. Oteteleşeanu nr. 1, sector 1, cod poştal 70702. tel. 615.88.66
cont virament 50.03.419.2553, Trezoreria sector 1.
Costul unui abonament anual este 22000 lei.

OROSZÁGOS MŰSZAKI INFORMÁCIÓS KÖZPONT ÉS KÖNYVTÁR 1883

# METROLOGIE

Publicaţie tehnico-ştiinţifică
editată de
INSTITUTUL NAŢIONAL DE METROLOGIE

## SUMAR

*ADALBERT SZAKÁTS*: Determinarea valorilor constantelor fizice fundamentale prin metode de ajustare ..... 34

*ELENA BORDESCU, VIOLETA ANTILIE*: Metoda celor mai mici pătrate aplicată în intercompararea etaloanelor de grup ..... 45

*AVRAM HELER, I. VETREŞ, ŞT. HĂRĂGUŞ*: Dispozitive cu traductor Hall pentru verificare şi determinarea numărului de spire al bobinelor electrice ..... 52

*NECULAI MOISOI*: Metodă de determinare a coeficientului de compresibilitate al lichidelor ..... 56

**INFORMAŢII**

*
* *

**Colectivul de redacţie:** fiz. Dragoş Boiciuc, Viorica Burciu (*secretar de redacţie*), ing. chim. Mirela Buzoianu, ing. Gabriel Iordăchescu, fiz. Gheorghe Ispăşoiu, dr. ing. Aurel Millea (*redactor responsabil*), ing. Ionel Udrea.

# Determinarea valorilor constantelor fizice fundamentale prin metode de ajustare

ADALBERT SZAKÁTS *)

***Abstract:*** *The paper describes some methods for the adjustment of the fundamental physical constants (CFF), aiming at determining some values and associated uncertainties based on the results of certain measurements and using overdetermined systems of equations. The fact that the final results of the linearization method together with the use of logarithms are better than those of the methods currently applied within CODATA is pointed out.*

***Résumé:*** *On décrie les métodes d'ajustement pour les valeurs des constantes physiques fondamentaux (CFF) en vue de detérminer des valeurs et des incertitudes associées en partant des résultats des certaines mesurages et en ultilisant des systèmes d'équations surdetérminés. On démontre que par la métode de linearisation et des logarithms on peut obtenir des meilleurs résultats finals que par les métodes usuelles appliquées dans le cadre de CODATA.*

## Introducere

În [1] s-a discutat importanța studiului constantelor fizice fundamentale *(CFF)* pentru metrologie. Importanța lor *teoretică* constă în faptul că ele permit introducerea unor unități de măsurare naturale, ideale din punctul de vedere al stabilității și reproductibilității. *Practic CFF* joacă un rol important în definirea unităților SI, introducând **precizii absolute** în metrologie [1]. Proprietățile ideale ale *CFF* ca etaloane naturale se pot valorifica și la nivel macroscopic, datorită efectelor cuantice detectabile la acest nivel (efectul Hall cuantic, efectul Josephson). Acestea au deschis calea "metrologiei cuantice". Reprezentarea unităților electrice pe baza metrologiei cuantice oferă precizii mult superioare celor atinse până acum. Totodată metrologia cuantică permite o conservare mult mai bună a unităților electrice, precum și o uniformitate superioară a determinărilor interlaborator. Această dezvoltare a stat la baza inițiativei CIPM în 1988 de adoptare a unor schimbări în unitățile electrice conservate [2], pentru a le aduce într-o mai bună concordanță cu SI. Schimbările au fost bazate pe analizele [3] și [4]. [3] conține o ajustare "cele mai mici pătrate" *(CMMP)* a *CFF* efectuată de CODATA (Committee on Data for Science and Technology). Ajustarea s-a bazat pe așa numitele "ecuații observaționale pentru *CFF*".

## Ecuații observaționale pentru *CFF*

Între *CFF* există relații, prin intermediul cărora unele se pot calcula din celelalte. În sensul strict al cuvântului se pot numi fundamentale acele elemente ale mulțimii *CFF*, care sunt independente. Acest set de bază poate fi ales în mai multe feluri. Teoretic, dacă *CFF* ale setului de bază ar putea fi cunoscute cu precizie absolută, relațiile existente între constantele fizice ar oferi posibilitatea calculului exact al celorlalte. De exemplu, prin definiție se poate pune:

$$F = N_A e \tag{1}$$

unde $F$ este constanta lui Faraday, $N_A$ reprezintă numărul lui Avogadro, iar $e$ notează sarcina electronului. Evident, dacă $M_p$ este masa molară a protonului, iar $m_p$ masa protonului

$$N_A = M_p/m_p \tag{2}$$

astfel încât

$$F = \frac{M_p}{m_p} \cdot e\,. \tag{3}$$

Înmulțind și împărțind relația (3) cu $2/h$ unde $h$ este constanta lui Planck, în ea se poate explicita factorul $Q_J = 2e/h$ legat de efectul Josephson:

*) Asociația Ecumenică a Bisericilor din România – AID Rom.

$$F = \frac{M_p}{m_p} \cdot \frac{2e}{h} \cdot \frac{h}{2} = \frac{M_p}{m_p} \cdot Q_J \cdot \frac{h}{2} . \quad (4)$$

În (4) poate fi pus în evidență raportul adimensional $m_p/m_e$:

$$F = \frac{1}{2} \frac{1}{m_p/m_e} \frac{h}{m_e} M_p Q_J . \quad (5)$$

Ținând seamă de definiția constantei Rydberg,

$$R_\infty = \frac{m_e c \alpha^2}{2h} \quad (6)$$

ecuația (5) poate fi pusă sub forma următoare:

$$F = \frac{1}{4\left(\frac{m_p}{m_e}\right)} \frac{2h}{m_e} M_p Q_J = \frac{M_p Q_J}{4\left(\frac{m_p}{M_e}\right)} \frac{2h}{m_e c \alpha^2} c \alpha^2 =$$

$$= \frac{M_p Q_J}{R_\infty} \frac{1}{4\left(\frac{m_p}{m_e}\right)} c \alpha^2 = \frac{M_p c Q_J}{4 R_\infty \left(\frac{m_p}{m_e}\right)} \alpha^2 \quad (7)$$

în consecință constanta lui Faraday poate fi exprimată în funcție de

$$M_p,\ c,\ Q_J,\ R_\infty,\ \frac{m_p}{m_e} \text{ respectiv } \alpha^2 .$$

Voltul conservat la BIPM se va nota cu $V_{BI76}$. Raportul Josephson utilizat la BIPM pentru conservare este **prin definiție**:

$$E = 483594{,}0 \text{ GHz} / V_{BI76}$$

adică incertitudinea mărimii $E$ **este nulă**. Corespondentul SI al lui $E$ este $Q_J$. Prin urmare $Q_J/E$ reprezintă raportul a două exprimări ale aceleiași mărimi fizice, una în (volt SI × secundă SI)$^{-1}$, cealaltă în (volt conservat BIPM × secundă SI)$^{-1}$. Deoarece raportul valorilor numerice este invers proporțional cu raportul unităților de măsură, avem

$$\frac{Q_J}{E} = \frac{(\text{volt conservat BIPM} \times \text{sec.SI})^{-1}}{(\text{volt SI} \times \text{sec.SI})^{-1}} = \quad (9)$$

$$= \frac{\text{volt SI}}{\text{volt conservat BIPM}} = \frac{V}{V_{BI76}}$$

Fie acum $K_V \equiv V_{BI76}/V$. Atunci $Q_J/E = 1/K_V$ și

$$Q_J = \frac{E}{K_V} \quad (10)$$

Similar, dacă mărimile $K_A$ respectiv $K_V$ notează valorile *"amper"* și *"ohm"* conservate exprimate în unități SI coerente, se pot scrie următoarele:

$$\frac{F}{F_{BI85}} = \frac{(C_{BI85}/mol}{(C/mol)} = \frac{C_{BI85}}{C} = \frac{A_{BI85}}{A} = K_A$$

sau

$$F = K_A F_{BI85} \quad (11)$$

($F_{BI85}$, $C_{BI85}$, $A_{BI85}$ reprezintă *"farad"*, *"coulomb"* respectiv *"amper"* conservat.) Punând (10) și (11) în (7) ecuația ce exprimă constanta lui Faraday, $F$, aceasta devine:

$$F_{BI85} \frac{K_V}{K_\Omega} = \frac{M_p C \frac{E}{K_V}}{4 R_\infty \frac{m_p}{m_e}} \alpha^2$$

deoarece conform legii lui Ohm $K_A = K_V/K_\Omega$, sau

$$F_{BI85} = \frac{M_p C E}{4 R_\infty \frac{m_p}{m_e}} \alpha^2 K_V^{-2} K_\Omega . \quad (12)$$

Ecuația (12) este una din cele 12 ecuații observaționale pe care se bazează ajustarea făcută în [3]:

$$\Omega_{BI85} = K_\Omega \Omega \quad \text{(EO–1)}$$

$$A_{BI85} = K_V K_\Omega^{-1} A \quad \text{(EO–2)}$$

$$V_{BI85} = K_V V \quad \text{(EO–3)}$$

$$F_{BI85} = \frac{M_p C E}{4 R_\infty \frac{m_p}{m_e}} \alpha^2 K_V^{-2} K_\Omega \quad \text{(EO–4)}$$

$$\gamma_p'(10)_{BI85} = \frac{C \frac{\mu_p'}{\mu_B} E}{4 R_\infty} \alpha^2 K_\Omega^{-1} \quad \text{(EO–5)}$$

$$\gamma_p'(hi)_{BI85} = \frac{C\dfrac{\mu_p'}{\mu_B}E}{4R_\infty}\alpha^2 K_V^{-2} K_\Omega \qquad \text{(EO–6)}$$

$$d_{220}(\text{Si}) = d_{220}(\text{Si}) \qquad \text{(EO–7)}$$

$$V_m(\text{Si}) = \frac{M_p \mu_0 c^2 E^2}{2\sqrt{8}\,\dfrac{m_p}{m_e}R_\infty}\alpha K_V^{-2} d_{220}^3(\text{Si}) \qquad \text{(EO–8)}$$

$$(R_H)_{BI85} = \frac{1}{2}\mu_0 c\,\alpha^{-1} K_\Omega^{-1} \qquad \text{(EO–9)}$$

$$\alpha = \alpha \qquad \text{(EO–10)}$$

$$\frac{\mu_\mu}{\mu_p} = \frac{\mu_\mu}{\mu_p} \qquad \text{(EO–11)}$$

$$\nu_{Mhfe} = \frac{16}{3}\frac{R_\infty c\dfrac{\mu_p}{\mu_B}q}{\left(1+\dfrac{m_e}{m_\mu}\right)^3}\alpha^2\frac{\mu_\mu}{\mu_p} \qquad \text{(EO–12)}$$

unde $q = 1{,}00095761(14)$

Ecuaţiile (EO–1), (EO–2), (EO–3), (EO–7), (EO–10) şi (EO–11) sunt triviale. (EO–5) şi (EO–6) sunt identice, abstracţie făcând de incoerenţa datorită utilizării unităţilor conservate. (EO–9) reprezintă **definiţia rezistenţei Hall**; (EO–5), (EO–8) şi (EO–12) se deduc prin raţionamente analoage celui exemplificat în cazul ecuaţiei (EO–4).

## Categorii ale *CFF*

Examinarea ecuaţiilor observaţionale (EO–1) (EO–12) pune în evidenţă diferite categorii de *CFF*.

### *Constantele auxiliare*

Astfel, o primă categorie este dată de următorul set:

$$\{M_p, c, R_\infty, m_p, m_e, \mu_p', \mu_B, \mu_0, \mu_p, m_\mu\} \qquad (13)$$

$M_p$ este masa molară a protonului. Lucrarea [5] oferă pentru această *CFF* valoarea de $1{,}007276470(12) \times 10^{-3}$ kg/mol;

$c$ este viteza de propagare a luminii în vid. Valoarea sa este **exactă** conform definiţiei sistemului de unităţi SI (v. [1]);

$R_\infty$ este constanta lui Rydberg. Valoarea luată din [5]: 10973731,534(13) $m^{-1}$;

$m_p$, $m_e$ masa protonului respectiv masa electronului. În ecuaţiile observaţionale intră sub forma raportului adimensional $m_p/m_e = 1836{,}152701(37)$ (cf. [5]);

$\mu_p$ momentul magnetic al protonului ($\mu_p'$ notează $\mu_p$ corectat pentru o temperatură de referinţă). În ecuaţiile observaţionale intră valorile exprimate în magnetoni Bohr ($\mu_B$). Conform [5]: $\mu_p/\mu_B = 1{,}521032202(15)$ şi $\mu_p'/\mu_B = 1{,}520993129(17)$;

$\mu_0$ permeabilitatea vidului. Conform definiţiei unităţilor SI are valoarea **exactă** de $4\pi \times 10^{-7}$ $NA^{-2}$ (v. [1]);

$m_\mu$ masa muonului. În ecuaţiile observaţionale apare sub forma raportului adimensional $1 + m_e/m_\mu = 1{,}00483633218(71)$.

Explicaţia formei în care se dau valorile numerice se poate exemplifica pe cazul raportului de mase proton–electron. Cifra dată, 1836,152701(37), înseamnă 1836,152701 ± 0,000037. Deci mărimea se cunoaşte cu o incertitudine de 0,02015 ppm (părţi pe milion).

Tabelul următor însumează valorile numerice folosite:

| Simbol | Valoare | Unitate | Incertitudine (ppm) |
|---|---|---|---|
| $M_p$ | 1,007276470(12) | $10^{-3}$ kg/mol | 0,01191 |
| $c$ | 299792458 | m/s | 0 |
| $R_\infty$ | 10973731,534(13) | $m^{-1}$ | 0,00118 |
| $m_p/m_e$ | 1836,152701 | | 0,02015 |
| $\mu_p/\mu_B$ | 0,001521032202(15) | | 0,00986 |
| $\mu_p'/\mu_B$ | 0,001520993129(17) | | 0,01118 |
| $\mu_0$ | $4\pi$ x $10^{-7}$ | $NA^{-2}$ | 0 |
| $1+ m_e/m_\mu$ | 1,00483633218(71) | | 0,00071 |

Această categorie de *CFF* se cunoaşte cu incertitudini ce nu depăşesc $0{,}0215 \approx 0{,}02$ ppm. De aceea [5] le numeşte ***constante auxiliare ale***

***ajustării***. În prima aproximație aceste valori sunt neafectate de procesul de ajustare. Dacă se introduc notațiile:

$$I_1 = \frac{M_p\, c\, E}{4\, R_\infty \dfrac{m_p}{m_e}} \qquad I_2 = \frac{c\, \dfrac{\mu_p'}{\mu_B} E}{4\, R_\infty}$$

$$I_3 = \frac{M_p\, \mu_0\, c^2\, E^{\,2}}{2\sqrt{8}\, \dfrac{m_p}{m_e} R_\infty} \qquad I_4 = \frac{1}{2}\, \mu_0\, c$$

$$I_5 = \frac{16}{3} \frac{R_\infty\, c\, \dfrac{\mu_p}{\mu_B}\, q}{\left(1 + \dfrac{m_e}{m_\mu}\right)^3}$$

unde $q = 1{,}00095761(14)$

(de observat că incertitudinea mărimii $q$ /1,4 x $10^{-9}$ = 0,0014 ppm/ este compatibilă cu cea a constantelor auxiliare) ecuațiile observaționale devin:

$$\frac{\Omega_{\mathrm{BI85}}}{\Omega} = K_\Omega$$

$$\frac{A_{\mathrm{BI85}}}{A} = K_V K_\Omega^{-1}$$

$$\frac{V_{\mathrm{BI76}}}{V} = K_V$$

$$F_{\mathrm{BI85}} = I_1\, \alpha^2\, K_V^{-2}\, K_\Omega$$

$$\gamma_p'(10)_{\mathrm{BI85}} = I_2\, \alpha^2\, K_\Omega^{-1}$$

$$\gamma_p'(hi)_{\mathrm{BI85}} = I_2\, \alpha^2\, K_V^{-2}\, K_\Omega \qquad (14)$$

$$d_{220}(\mathrm{Si}) = d_{220}(\mathrm{Si})$$

$$V_m(\mathrm{Si}) = I_3\, \alpha\, K_V^{-2}\, d_{220}^3(\mathrm{Si})$$

$$(R_H)_{\mathrm{BI85}} = I_4\, \alpha^{-1}\, K_\Omega^{-1}$$

$$\alpha = \alpha$$

$$\frac{\mu_\mu}{\mu_p} = \frac{\mu_\mu}{\mu_p}$$

$$\nu_{Mhfs} = I_5\, \alpha^2\, \frac{\mu_\mu}{\mu_p}$$

***Datele stohastice***

O altă categorie de *CFF* este dată de setul

$$\left\{ \frac{\Omega_{\mathrm{BI85}}}{\Omega},\ \frac{A_{\mathrm{BI85}}}{A},\ \frac{V_{\mathrm{BI85}}}{V},\ F_{\mathrm{BI85}},\ \gamma_p'(10)_{\mathrm{BI85}},\ \gamma_p'(hi)_{\mathrm{BI85}},\ d_{220}(\mathrm{Si}),\ V_m(\mathrm{Si}),\ (R_H)_{\mathrm{BI85}},\ \alpha,\ \frac{\mu_\mu}{\mu_p},\ \nu_{Mhfs} \right\}$$

În [5] acestea se numesc ***date stohastice***. Ele constituie datele experimentale (de intrare) ale ajustării propriu-zise. Constantele $\Omega_{\mathrm{BI85}}/\Omega$, $A_{\mathrm{BI85}}/A$ și $V_{\mathrm{BI76}}/V$ nu sunt *CFF* în sensul strict al cuvântului. În prezenta etapă a progresului tehnic sunt însă importante, pentru că se leagă de reprezentarea modernă a unităților SI electrice (ohm, amper și volt). $\Omega_{\mathrm{BI85}}/\Omega$ este ohm-ul conservat, $A_{\mathrm{BI85}}/A$ amperul conservat iar $V_{\mathrm{BI76}}/V$ reprezintă voltul conservat.

$F_{\mathrm{BI85}}$ notează constanta lui Faraday, $\gamma_p'(10)_{\mathrm{BI85}}$ este raportul giromagnetic al protonului determinat pe baza experiențelor cu câmpuri slabe, $\gamma_p'(hi)_{\mathrm{BI85}}$ este aceeași mărime determinată pe baza experiențelor cu câmpuri intense. $d_{220}(\mathrm{Si})$ este pasul rețelei siliciului iar $V_m(\mathrm{Si})$ volumul molar al siliciului. $(R_H)_{\mathrm{BI85}}$ este valoarea experimentală a rezistenței Hall, $\alpha$ este constanta structurii fine; $\mu_\mu/\mu_p$ este raportul momentelor magnetice ale muonului și protonului. $\nu_{Mhfs}$ este frecvența asociată cu intervalul despicării hiperfine muonice.

***Necunoscutele ajustării***

A treia, și ultima categorie sunt *CFF* ajustate:

$$\left\{ K_\Omega,\ K_V,\ \alpha,\ d_{220}(\mathrm{Si}),\ \frac{\mu_\mu}{\mu_p} \right\}.$$

În [5] aceste *CFF* sunt considerate drept variabilele ajustării. Se observă că $\alpha$, $d_{220}(\mathrm{Si})$ și $\mu_\mu/\mu_p$ apar atât pe post de date stohastice (date de intrare din punctul de vedere al analizei de ajustare), cât și pe post de date ajustate (date de ieșire din punctul de vedere al analizei de ajustare).

Variabilele de ajustare $K_\Omega$ şi $K_V$ (ohmul respectiv voltul conservat, exprimaţi în unităţi SI coerente) sunt "perechile ajustate" ale datelor de intrare $\Omega_{BI85}/\Omega$ respectiv $V_{BI76}/V$.

**Ajustarea**

Să grupăm în partea stângă a sistemului (14) funcţiile de constante auxiliare $I_i$ $(i = 1, ..., 5)$ şi datele stohastice, lăsând în partea dreaptă necunoscutele ajustării. Pentru a face distincţie în cazul lui $\alpha$, $d_{220}(\mathrm{Si})$ şi $\mu_\mu/\mu_p$ între data stohastică şi necunoscută, pentru data stohastică vom folosi indexul superior $^*$. Atunci:

$$\frac{\Omega_{BI85}}{\Omega} = K_\Omega$$

$$\frac{A_{BI85}}{A} = K_V K_\Omega^{-1}$$

$$\frac{V_{BI76}}{V} = K_V$$

$$\frac{F_{BI85}}{I_1} = \alpha^2 K_V^{-2} K_\Omega$$

$$\frac{\gamma_p'(10)_{BI85}}{I_2} = \alpha^2 K_\Omega^{-1}$$

$$\frac{\gamma_p'(hi)_{BI85}}{I_2} = \alpha^2 K_V^{-2} K_\Omega \qquad (15)$$

$$d_{220}^*(\mathrm{Si}) = d_{220}(\mathrm{Si})$$

$$\frac{V_m(\mathrm{Si})}{I_3} = \alpha K_V^{-2} d_{220}^3(\mathrm{Si})$$

$$\frac{(R_H)_{BI85}}{I_4} = \alpha^{-1} K_\Omega^{-1}$$

$$\alpha^* = \alpha$$

$$\left(\frac{\mu_\mu}{\mu_p}\right)^* = \frac{\mu_\mu}{\mu_p}$$

$$\frac{\nu_{Mhfs}}{I_5} = \alpha^2 \frac{\mu_\mu}{\mu_p}$$

Din sistemul (15) se pot determina necunoscutele ajustării. Este vorba de ajustare, deoarece avem un sistem supradeterminat (12 ecuaţii pentru 5 necunoscute). Tratarea problemei este îngreunată de faptul că ecuaţiile sistemului (15) sunt neliniare. În prezenta lucrare se propune linearizarea sistemul prin logaritmare. Definindu-se mărimile $y_i$ $(i = 1, ..., 12)$ conform relaţiilor următoare

$$y_1 = \ln\left[\frac{\Omega_{BI85}}{\Omega}\right];\ y_2 = \ln\left[\frac{A_{BI85}}{A}\right];$$

$$y_3 = \ln\left[\frac{V_{BI76}}{V}\right];\ y_4 = \ln\left[\frac{F_{BI85}}{I_1}\right];$$

$$y_5 = \ln\left[\frac{\gamma_p'(10)_{BI85}}{I_2}\right];\ y_6 = \ln\left[\frac{\gamma_p'(hi)_{BI85}}{I_2}\right];$$

$$y_7 = \ln\left[d_{220}^*(\mathrm{Si})\right];\ y_8 = \ln\left[\frac{V_m(\mathrm{Si})}{I_3}\right]; \qquad (16)$$

$$y_9 = \ln\left[\frac{(R_H)_{BI85}}{I_4}\right];\ y_{10} = \ln(\alpha^*);$$

$$y_{11} = \ln\left[\left(\frac{\mu_\mu}{\mu_p}\right)^*\right];\ y_{12} = \ln\left(\frac{\nu_{Mhfs}}{I_5}\right).$$

şi folosind necunoscutele sub formă logaritmică, sistemul (15) se transformă într-un sistem de 12 ecuaţii liniare pentru necunoscutele:

$$p_1 = \ln K_\Omega;\ p_2 = \ln K_V;\ p_3 = \ln\alpha;$$
$$p_4 = \ln[d_{220}(\mathrm{Si})];\ p_5 = \ln\left(\frac{\mu_\mu}{\mu_p}\right). \qquad (17)$$

Sistemul liniar are atunci forma

$$\begin{aligned}
y_1 &= 1p_1 + 0p_2 + 0p_3 + 0p_4 + 0p_5\\
y_2 &= -1p_1 + 1p_2 + 0p_3 + 0p_4 + 0p_5\\
y_3 &= 0p_1 + 1p_2 + 0p_3 + 0p_4 + 0p_5\\
y_4 &= 1p_1 - 2p_2 + 2p_3 + 0p_4 + 0p_5\\
y_5 &= -1p_1 + 0p_2 + 2p_3 + 0p_4 + 0p_5\\
y_6 &= 1p_1 - 2p_2 + 2p_3 + 0p_4 + 0p_5\\
y_7 &= 0p_1 + 0p_2 + 0p_3 + 1p_4 + 0p_5\\
y_8 &= 0p_1 - 2p_2 + 1p_3 + 3p_4 + 0p_5\\
y_9 &= -1p_1 + 0p_2 + 1p_3 + 0p_4 + 0p_5\\
y_{10} &= 0p_1 + 0p_2 + 1p_3 + 0p_4 + 0p_5\\
y_{11} &= 0p_1 + 0p_2 + 0p_3 + 0p_4 + 1p_5\\
y_{12} &= 0p_1 + 0p_2 + 2p_3 + 0p_4 + 1p_5.
\end{aligned} \qquad (18)$$

***Calculul erorilor ce afectează datele de intrare ale ajustării***

Pentru a putea face comparaţii, drept date de intrare se vor folosi datele utilizate în [5]. Tabelul următor cuprinde valorile experimentale disponibile pentru $\Omega_{BI85}/\Omega$:

| Laborator | Data determinării | Valoarea $\Omega_{BI85}/\Omega$ |
|---|---|---|
| NML (Australia) | 1964–85 | 0,99999854(14) |
| NBS (SUA) | 1973 | 0,99999830(11) |
| ETL (Japonia) | 1977–84 | 0,99999840(23) |
| NPLI (India) | 1981 | 0,99999850(36) |
| NPL (Marea Britanie) | 1983 | 0,99999868(14) |

Admițând pentru moment că rezultatele experimentale se supun distribuției normale, pentru valoarea medie calculată din aceste 5 determinări rezultă

$$\frac{\Omega_{BI85}}{\Omega} = 0{,}99999847(7) \qquad (19)$$

Având în vedere definiția mărimii $y_1$, prin propagarea erorilor se găsește imediat:

$$y_1 = -1{,}534(69) \times 10^{-6} \qquad (20)$$

Tabelul următor cuprinde rezultatele obținute pentru toate datele de intrare ale ajustării:

| Mărime | Data | Lab. | Valoare | y |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 Ohm, $\Omega_{BI85}$ | | | | $-1{,}534(69) \times 10^{-6}$ |
| 1.1 | 1964–85 | NML | 0,99999854(14) | |
| 1.2 | 1973 | NBS | 0,99999830(11) | |
| 1.3 | 1977–84 | ETL | 0,99999840(23) | |
| 1.4 | 1981 | NPLI | 0,99999850(36) | |
| 1.5 | 1983 | NPL | 0,99999868(14) | |
| 2 Ampère, $A_{BI85}$ | | | A | $2{,}069(2533) \times 10^{-6}$ |
| 2.1 | 1956 | NBS | 0,9999974(84) | |
| 2.2 | 1963 | NPL | 0,9999982(59) | |
| 2.3 | 1966–69 | VNIIM | 0,9999986(61) | |
| 2.4 | 1967 | NBS | 1,0000027(97) | |
| 2.5 | 1972 | ASMW | 1,0000032(79) | |
| 2.6 | 1976 | NPL | 1,0000062(41) | |
| 3 Volt, $V_{BI76}$ | | | V | $-7{,}912(586) \times 10^{-6}$ |
| 3.1 | 1982–83 | LCIE | 0,9999967(24) | |
| 3.2 | 1985 | NML | 0,99999186(60) | |
| 4 Faraday, $F$ | | | $C_{BI85}$/mol | –9,8404724(13) |
| 4.1 | 1975–84 | NBS | 96486,00(13) | |
| 5 Raport giromag. câmp slab, $\gamma'_p$ | | | $10^4\ s^{-1}/T_{BI85}$ | –9,84048670(20) |
| 5.1 | 1968 | ETL | 26751,180(87) | |
| 5.2 | 1971–76 | NPL | 26751,177(15) | |
| 5.3 | 1977 | NIM | 26751,399(22) | |
| 5.4 | 1978 | NBS | 26751,3719(64) | |

(*continuare*)

| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 5.5 | 1980 | VNIIM | 26751,241(17) | |
| 5.6 | 1981 | ASMW | 26751,412(57) | |
| 6 Raport giromag. câmp tare, $\gamma_p'$ | | | $10^4\ C_{BI85}$/ kg | –9,84047525(92) |
| 6.1 | 1961–64 | Kh GIMIP | 26751,30(15) | |
| 6.2 | 1974 | NPL | 26751,676(27) | |
| 6.3 | 1981 | NIM | 26751,564(96) | |
| 6.4 | 1983 | ASMW | 26751,466(86) | |
| 7 Pas rețea Si, $d_{220}$ | | | pm | –22,373443185(91) |
| 7.1 | 1973–76 | NBS | 192,015904(19) | |
| 7.2 | 1981 | PTB | 192,015560(45) | |
| 8 Volum molar Si, *M/p* | | | $10^{-6}$ m$^3$/mol | –72,0405637(12) |
| 8.1 | 1973 | NBS | 12,058808(14) | |
| 9 Rezistență Hall cuantizată, $R_H$ | | | $\Omega_{BI85}$ | 4,920245154(62) |
| 9.1 | 1985 | PTB | 25812,8469(48) | |
| 9.2 | 1983–84 | NBS | 25812,8495(31) | |
| 9.3 | 1984 | ETL | 25812,8432(40) | |
| 9.4 | 1984 | NPL | 25812,8427(34) | |
| 9.5 | 1984 | VSL | 25812,8397(57) | |
| 9.6 | 1984–85 | LCIE | 25812,8502(39) | |
| 10 Valoarea inversă a constantei structurii fine, $\alpha^{-1}$ | | | | –4,920243627(65) |
| 10.1 | 1981–84 | W/Co Univ. | 137,0359942(89) | |
| 10.2 | 1984 | Yale Univ. | 137,036041(82) | |
| 11 Momentul magnetic al muonului, $\mu_\mu/\mu_p$ | | | | 1,15793269(29) |
| 11.1 | 1982 | Los Alamos/ Yale Univ. | | 3,1833461(11) |
| 11.2 | 1982 | SIN | 3,1833441(17) | |
| 12 Interval hiperfin muonic, $\nu_{Mhfs}$ | | | kHz | –8,68255450(14) |
| 12.1 | 1982 | Los Alamos/ Yale | 4463302,88(62) | |

Pentru interpretarea geometrică a sistemului (18) să considerăm un spaţiu euclidian 6 dimen- sional. Axa ordonatelor *(Oy)* este perpendiculară pe subspaţiul 5 dimensional al absciselor cu axele $(Ox_1, Ox_2, Ox_3, Ox_4, Ox_5)$. Ecuaţia

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 + p_4 x_4 + p_5 x_5 \quad (21)$$

reprezintă un hiperplan 5 dimensional în spaţiul 6 dimensional respectiv, ce trece prin origine. Pe baza oricărui set de 5 ecuaţii din sistemul (18) se poate determina un asemenea plan. Să considerăm de exemplu ecuaţiile nr. 1, 3, 7, 10 şi 11 din (18). Atunci:

$$\begin{aligned} y_1 &= y(1,0,0,0,0) \\ y_3 &= y(0,1,0,0,0) \\ y_7 &= y(0,0,0,1,0) \\ y_{10} &= y(0,0,1,0,0) \\ y_{11} &= y(0,0,0,0,1) \end{aligned} \quad (22)$$

de unde

$$\begin{aligned} y_1 &= p_1 \\ y_3 &= p_2 \\ y_7 &= p_4 \\ y_{10} &= p_3 \\ y_{11} &= p_5 \end{aligned} \quad (23)$$

adică

$$\begin{aligned} p_1 &= y_1 \\ p_2 &= y_3 \\ p_3 &= y_{10} \\ p_4 &= y_7 \\ p_5 &= y_{11}. \end{aligned} \quad (24)$$

Cu aceste valori ale parametrilor $p_i$ $(i = 1,...,5)$ funcţia liniară (21) va reproduce $y_1$, $y_3$, $y_7$, $y_{10}$ şi $y_{11}$, dar nu şi $y_2$, $y_4$, $y_5$, $y_6$, $y_8$, $y_9$ şi $y_{12}$. Avem următoarea situaţie:

| Nr. ec. | $(x_1,x_2,x_3,x_4,x_5)$ | $y(x_1,x_2,x_3,x_4,x_5)$ | y |
|---|---|---|---|
| 1 | ( 1, 0, 0,0,0) | – 0,000001534 | – 0,000001534 |
| 2 | (–1, 1, 0,0,0) | – 0,000006378 | 0,000002069 |
| 3 | ( 0, 1, 0,0,0) | – 0,000007912 | – 0,000007912 |
| 4 | ( 1,–2, 2,0,0) | – 9,8404730 | – 9,8404724 |
| 5 | (–1, 0, 2,0,0) | – 9,84048572 | – 9,84048670 |
| 6 | ( 1,–2, 2,0,0) | – 9,84047296 | – 9,84047525 |
| 7 | ( 0, 0, 0,1,0) | – 22,373443185 | – 22,373443185 |
| 8 | ( 0,–2, 1,3,0) | – 72,0405574 | – 72,0405637 |
| 9 | (–1, 0,–1,0,0) | 4,920245161 | 4,920245154 |
| 10 | ( 0, 0, 1,0,0) | – 4,920243627 | – 4,920243627 |
| 11 | ( 0, 0, 0,0,1) | 1,15793269 | 1,15793269 |
| 12 | ( 0, 0, 2,0,1) | 8,68255456 | – 8,68255450 |

Din aceste date se vede că o asemenea soluţie a sistemului supradeterminat (18) nu este satisfăcătoare. Nimic nu justifică favorizarea celor 5 ecuaţii selectate ce determină soluţia.

Conform imaginii geometrice hiperplanul–soluţie conţine punctele cu coordonatele

$P_1$ ( – 0,000001534; 1 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0)
$P_3$ ( – 0,000007912; 0 ; 1 ; 0 ; 0 ; 0)
$P_7$ (–22,373443185; 0 ; 0 ; 0 ; 1 ; 0)
$P_{10}$ ( – 4,920243627; 0 ; 0 ; 1 ; 0 ; 0)
$P_{11}$ ( 1,15793269 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0 ; 1)

iar celelalte 7 puncte

$P_2$ ( – 0,000002069; –1 ; 1; 0 ; 0 ; 0)
$P_4$ ( – 9,8404724 ; 1 ; –2; 2 ; 0 ; 0)
$P_5$ ( – 9,84048670 ; –1 ; 0; 2 ; 0 ; 0)
$P_6$ ( – 9,84047525 ; 1 ; –2; 2 ; 0 ; 0)
$P_8$ (–72,0405637 ; 0 ; –2; 1 ; 3 ; 0)
$P_9$ ( 4,920245154; –1 ; 0; –1 ; 0 ; 0)
$P_{12}$ ( – 8,68255450 ; 0 ; 0; 2 ; 0 ; 1)

sunt în afara hiperplanului. Punctul $P_2$ se situează "deasupra" hiperplanului, deoarece

0,000002069 > –0,000006378;

$P_4$ tot deasupra (–9,8404724 > –9,8404730);

$P_5$ deasupra (–9,84048670 > –9,84048572);
$P_6$ dedesubt (–9,84047525 < –9,84047296) etc.

Din 12 ordonate se pot alege 5 în $C_5^{12} = 3960$ moduri. Fiecare asemenea alegere conducând la o altă soluție a sistemului (18).

Hiperplanul soluție trebuie să treacă într-un fel "printre punctele" experimentale, astfel încât să nu favorizeze un grup ales, ci să se afle cât se poate de aproape de toate cele 12.

Un criteriu pentru a calcula poziția unui astfel de hiperplan poate fi criteriul metodei "celor mai mici pătrate" *(CMMP)*.

***Ajustarea CMMP simplă (neponderată)***

Această metodă de rezolvare caută soluția $(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5)$ astfel încât mărimea

$$S_p = \sum_{i=1}^{12} \left[ y_i - y\left( x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, x_3^{(i)}, x_4^{(i)}, x_5^{(i)}; p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 \right) \right]^2 \quad (25)$$

să fie minimă. Condiția de minim duce la următoarele ecuații pentru necunoscutele ajustării, $(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5)$:

$$p_1 \sum_{i=1}^{12} x_1^{(i)} x_j^{(i)} + p_2 \sum_{i=1}^{12} x_2^{(i)} x_j^{(i)} + p_3 \sum_{i=1}^{12} x_3^{(i)} x_j^{(i)} + p_4 \sum_{i=1}^{12} x_4^{(i)} x_j^{(i)} + p_5 \sum_{i=1}^{12} x_5^{(i)} x_j^{(i)} = \sum_{i=1}^{12} y_i^{(i)} x_j^{(i)} \quad (26)$$

unde $j = 1,...,5$. Astfel, sistemul de 5 ecuații pentru 5 necunoscute (26) oferă o soluție univoc determinată ce minimizează expresia sumei de pătrate simple (25). Soluția găsită în acest mod este:

*Calculul erorilor s-a făcut printr-un simplu procedeu de propagare.* Dacă valoarea sumei de pătrate (25) pentru soluția (24) este $1{,}175 \times 10^{-10}$, pentru soluția ajustată se obține $6{,}122 \times 10^{-11}$, deci apropierea de puncte a hiperplanului este mai bună. Soluția (27) corespunde la următoarele valori găsite prin ajustare pentru necunoscute:

$K_\Omega$ = 0,99999777(25)
$K_V$ = 0,999993304(46)
$\alpha^{-1}$ = 137,035942(48)
$d_{220}$ = 192,015609(48) pm
$\mu_\mu/\mu_p$ = 3,18334436(45).

Rezultatele ajustării din 1986 [5] au fost:

$K_\Omega$ = 0,999998476(92)
$K_V$ = 0,99999276(54)
$\alpha^{-1}$ = 137,035996(11)
$d_{220}$ = 192,015553(74) pm
$\mu_\mu/\mu_p$ = 3,18334571(87)

iar valorile de intrare ale ajustării

$K_\Omega$ = 0,999998466(69)
$K_V$ = 0,999992088(586)
$\alpha^{-1}$ = 137,0359948(89)
$d_{220}$ = 192,015851(17) pm
$\mu_\mu/\mu_p$ = 3,18334551(92).

**Concluzii**

Prin compararea datelor se observă imediat următoarele:

1) ajustarea logaritmică simplă (neponderată), asociată cu un calcul de erori foarte aproximativ (ALS), duce la un rezultat cu o incertitudine aproape de 3 ori mai mare, dar compatibil cu rezultatul ajustării din 1986 (A86) pentru $K_\Omega$; incertitudinea valorilor de ieșire pentru această necunoscută este pentru amândouă ajustările mai mare decât cea a valorii de intrare (fig. 1);

2) în cazul lui $K_V$ ALS oferă un rezultat compatibil, cu incertitudine **mult mai mică** decât A86 și a valorilor de intrare (fig. 2);

3) pentru $\alpha^{-1}$ situația este aceeași ca pentru $K_\Omega$ (fig. 3);

4) valoarea lui $d_{220}$ este modificată semnificativ de amândouă tipuri de ajustare, compatibile între ele; ajustările determină valoarea cu mai mare incertitudine, incertitudinea oferită de ALS **este mai mică** (fig. 4);

5) despre $\mu_\mu/\mu_p$ se poate spune că ajustarea ALS îmbunătățește sensibil incertitudinea și este compatibilă cu A86, care reduce foarte puțin incertitudinea datelor de intrare (fig. 5).

Din cele arătate rezultă clar:

– prin ajustare în unele cazuri se poate ajunge la determinarea mai precisă a *CFF*;

– metoda linearizării prin logaritmare se compară favorabil cu metoda A68 chiar și la o evaluare neponderată, aproximativă, prin propagare a erorilor;

– metoda ALS oferă posibilitatea dezvoltării ulterioare prin luarea în considerare a aspectelor statistice pentru o evaluare mai precisă a erorilor ajustării.

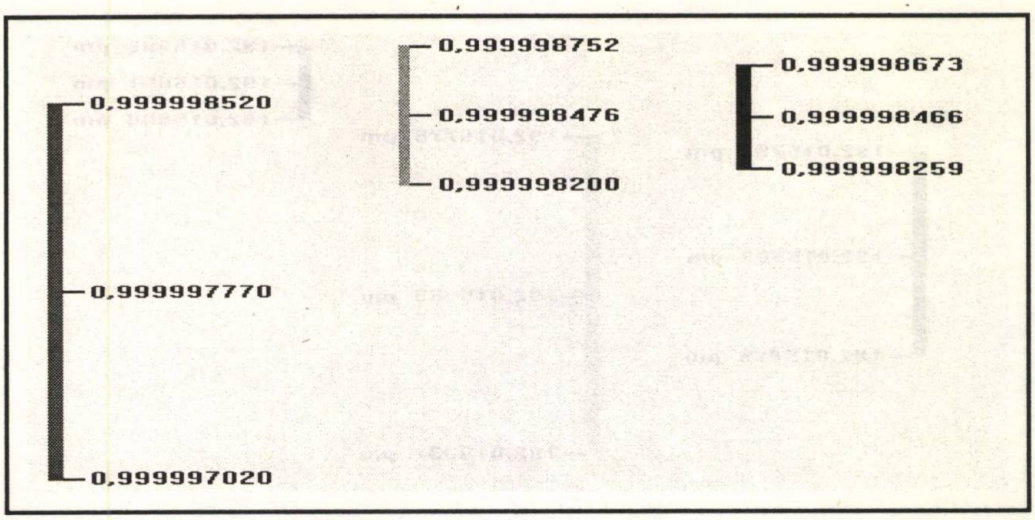



Fig. 1. Compararea rezultatelor obținute pentru $K_\Omega$:
*ALS* *A86* *Intrare*

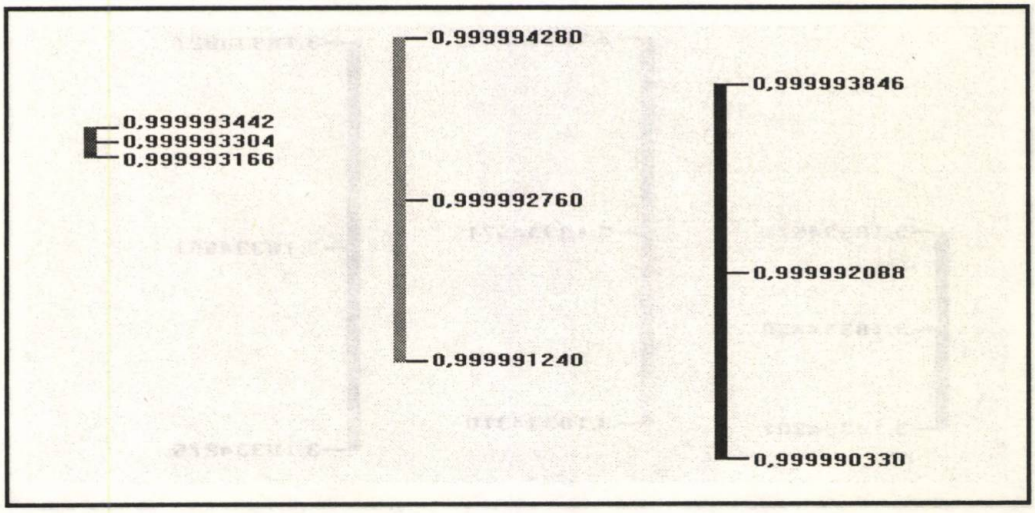



Fig. 2. Compararea rezultatelor obținute pentru $K_V$:
*ALS* *A86* *Intrare*

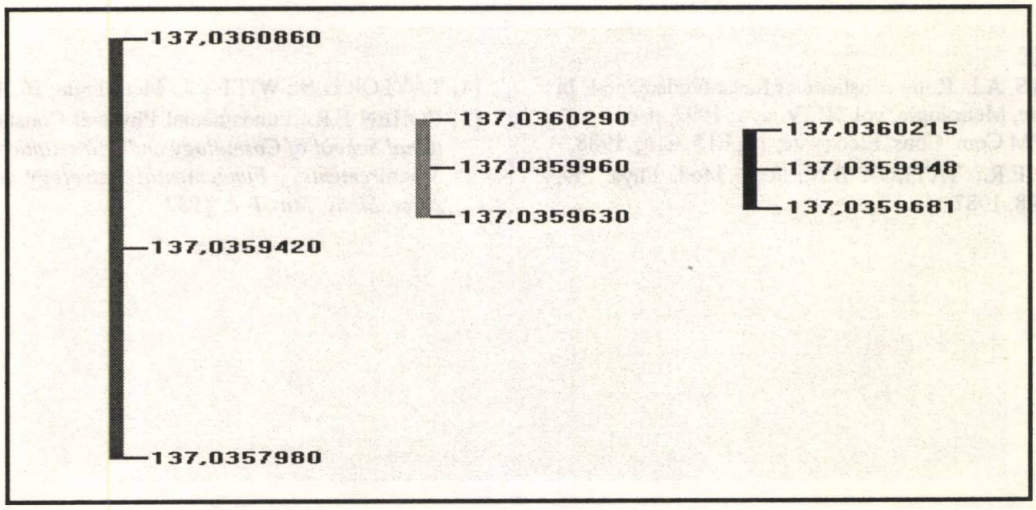



Fig. 3. Compararea rezultatelor obținute pentru $\alpha^{-1}$:
*ALS* *A86* *Intrare*

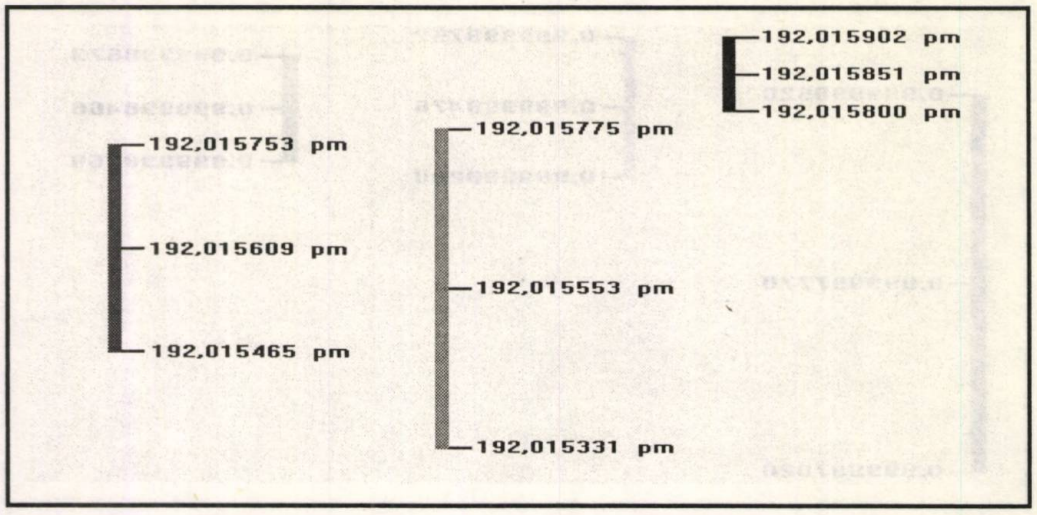



Fig. 4. Compararea rezultatelor obținute pentru $d_{220}$:
*ALS* *A86* *Intrare*

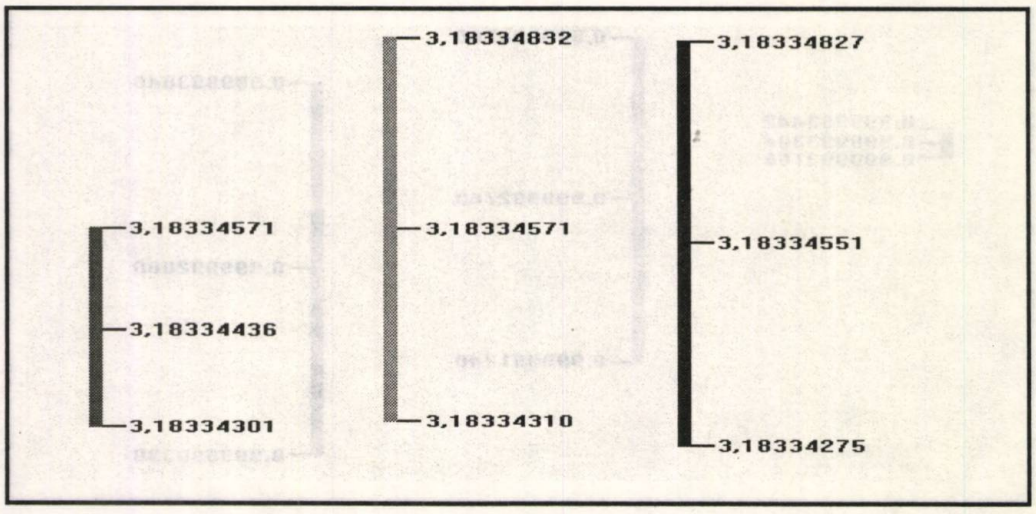



Fig. 5. Compararea rezultatelor obținute pentru $\mu_\mu/\mu_p$:
*ALS* *A86* *Intrare*

*REFERINȚE*

[1] SZAKÁTS, A.I.: Rolul constantelor fizice fundamentale în metrologie, Metrologie, vol. XLIV nr. 1, 1997, p. 6
[2] . . . : BIPM Com. Cons. Électricité, 18, E15–E16, 1988
[3] COHEN E.R.; TAYLOR B.N.: Rev. Mod. Phys., 59, 1121–1148, 1987
[4] TAYLOR B.N.; WITT T.J.: Metrologia, 26, 47–62 1989
[5] COHEN E.R.: Fundamental Physical Constants. *International School of Cosmology and Gravitation Gravitation Measurements, Fundamental Metrology and Constants Erice, Sicily, May 1–2, 1987*

# Metoda celor mai mici pătrate aplicată în intercompararea etaloanelor de grup

*Elena Bordescu* *)
*Violeta Pantilie* *)

**Abstract:** *The paper presents a software based solution for the processing of the raw data resulting from the comparison of the groups of standards aiming at improving the estimation of the values allotted to the standards in the group and of the associated uncertainties. The importance of the redundance, of the mathematical model and of the mathematical constraints are discussed. The introducing of the check standard concept makes it possible to distinguish between the problems arising at the standard level and those due to the instruments.*

**Résumé:** *L'article présente une solution à logiciel pour le traitement des données primaires résultant de la comparaison des groups d'étalons en vue d'obtenir des meilleurs estimations pour les valeurs des étalons du group et pour les incertitudes associées. On discute l'importance de la redondance, du modèle mathématique et des restrictions mathématiques. L'introduction du concept d'étalon virtuel de contrôle (check standard) pérmet la séparation des problèmes qui surgissent au niveau des étalons de celles surgissant à cause des instruments.*

## Introducere

Atunci când se efectuează mai multe măsurări asupra aceleiaşi mărimi se obişnuieşte să se considere media acestora, având sentimentul că această valoare este mai bună decât oricare alta aleasă din setul de măsurări [1].

Dar de ce media este un rezultat mai bun decât oricare valoare aleasă dintr-un şir de măsurari este un lucru care trebuie justificat teoretic [5]. Un prim şi important pas în această direcţie a fost făcut în anul 1755 de către Thomas Simpson.

Considerarea mediei în cazul particular al celor mai mici pătrate a fost făcută de Legendre în anul 1805, însă fără o tratare probabilistică a problemei.

Gauss a fost primul care a ajuns la concluzia că nu se poate obţine "cea mai bună" valoare fără a se cunoaşte distribuţia de probabilitate a erorilor de măsurare.

În anul 1798 Gauss a demonstrat faptul că valorile obţinute prin metoda celor mai mici pătrate sunt cele optime atunci când distribuţia erorilor este normală, iar în anul 1821 că această metodă furnizează estimatori cu cele mai mici varianţe dintre toate funcţiile liniare nedeplasate ce s-ar putea alege. Datorită acestei proprietăţi metoda celor mai mici pătrate este superioară oricărei alte metode de combinare a rezultatelor observaţiilor.

În această lucrare va fi exemplificată metoda celor mai mici pătrate pentru mai multe situaţii provenite din etalonări. De asemenea, este dezvoltat rolul restricţiilor matematice în soluţiile sistemelor care nu sunt de rang maxim.

## Etaloane de grup

La nivel naţional, etaloanele de grup sunt folosite în menţinerea şi transmiterea unităţii de măsură a unei mărimi fizice. Elementele unui grup sunt, în general, etalonate prin intercomparări internaţionale (de regulă la BIPM). Întrucât aceste etalonări se fac la perioade inegale de timp (un an sau mai mult), este absolut necesară folosirea unor tehnici de asigurare a menţinerii unităţii locale de măsură între etalonări.

Evoluţia etaloanelor presupune considerarea măsurărilor ca procese (funcţii de timp), în timp ce noţiunea de etalon de grup conţine implicit conceptul de redundanţă, care se poate realiza în două moduri:

1) simultan, prin menţinerea unităţii în $n$ etaloane în loc de unul singur;

*) Institutul Naţional de Metrologie, şos. Vitan Bârzeşti, nr. 11, sector 4, Bucureşti.

2) succesiv în timp prin măsurări repetate asupra etaloanelor.

Redundanța își propune:

1) să lege o măsurare singulară de un șir de măsurări;

2) să permită estimarea parametrilor statistici ai măsurării, considerată ca proces;

3) să folosească estimațiile parametrilor pentru eliminarea valorilor aberante (rezultatul unei măsurări singulare, un grup de măsurări, un etalon din grup);

4) să valideze rezultatele măsurării;

5) să determine cea mai bună estimație a unui rezultat parțial sau final al măsurării și incertitudinea asociată acestui rezultat.

Redundanța se realizează, în cazul comparării etaloanelor de grup, la trei nivele diferite. Acestea sunt:

1) măsurarea repetată a diferenței dintre 2 etaloane;

2) măsurarea a $k$ diferențe dintre 2 etaloane, unde $n < k \leq n(n-1)$, $n$ fiind numărul de etaloane din grup;

3) repetarea intercomparării la intervale de timp și pe o durată de timp semnificativă.

**Modelul matematic al măsurării**

Redundanța este folosită plecând de la un model matematic care se postulează pentru fiecare nivel de redundanță. De regulă, modelul matematic este empiric [4] și se bazează pe informații preliminare (studierea fenomenului fizic, măsurări anterioare, literatură de specialitate...).

Un model matematic își propune:

1) să identifice efectele sistematice ale erorilor de măsurare și să permită corectarea acestora;

2) să estimeze efectele aleatorii ale erorilor;

3) să creeze premizele pentru testarea faptului că procesul de măsurare este în stare de control statistic (variabilele aleatorii asociate procesului de măsurare sunt staționare în sens restrâns: au proprietăți statistice care nu depind de originea de timp considerată și există momentele centrate și necentrate, simple și mixte de ordinul I și II).

În final modelul matematic se evaluează prin verificarea nivelului de relevanță și a gradului de adecvare a acestuia.

În general, măsurările în țările dezvoltate se fac folosind instalații de măsurare dedicate unei anumite configurații particulare, incluzând un număr fix de etaloane în grup. Sunt cunoscute unele metode de eliminare a efectului sistematic al driftului [2], care au următoarele limitări:

– măsurările trebuie să fie echidistante în timp – o stare în afara controlului statistic al valorilor măsurate pentru o pereche de etaloane invalidează tot procesul de intercomparare, întrucât prin repetarea măsurărilor, acestea nu mai sunt echidistante în timp;

– eliminarea efectului sistematic al driftului se face numai în cazul unor matrice design speciale (matrice care descriu intercompararea), asociate unui anumit număr de etaloane; aceste matrice trebuie să aibă proprietatea că fiecare coloană trebuie să fie ortogonală pe vectorul corespunzător al timpilor centrați echidistanți;

– nu există astfel de matrice pentru orice număr de etaloane din grup.

Condițiile practice din INMB nu permit însă satisfacerea acestor condiții. Din acest motiv este foarte importantă o abordare software a datelor care rezultă din intercompararea etaloanelor de grup care să permită o creștere a calității estimațiilor și a incertitudinii asociate acestor estimații [6].

În cele ce urmează propunem o abordare care are în vedere conceptul de redundanță, așa cum a fost descris.

**Nivelul 1 de redundanță**

Acest nivel de redundanță, denumit aici nivel local de redundanță, corespunde măsurării repetate a diferenței dintre două etaloane din grup, care are numărul de ordine $i$.

Modelul matematic corespunzător acestui nivel de redundanță postulează:

– valorile etaloanelor din grup sunt staționare;

– efectele sistematice ale erorii provin de la comparator;

– efectele sistematice sunt lineare în timp, deci rezultatul $y(t)$ al măsurării se poate modela astfel:

$$y(t) = a + b\,t + \varepsilon$$

unde $\varepsilon$ este o variabilă aleatorie care provine dintr-o distribuție de medie nulă și varianță $\sigma^2$;

– există un punct de control pentru valorile individuale.

Succesiunea operațiilor care se execută la acest nivel este:

– se fac $p$ măsurări asupra diferenței dintre două etaloane din grup; fiecărei măsurări îi este asignat timpul corespunzător, care este considerat a fi exact cunoscut; se obțin $p$ rezultate $(t_{ij}, y_{ij}), j = 1,..., p$.

– se estimează prin metoda celor mai mici pătrate parametrii $a_i$ și $b_i$ ai dreptei de fitare prin cele $p$ puncte corespunzătoare diferenței de rang $i$:

$$y_{ij} = a_i + b_i t_{ij}$$

Funcția pentru care se calculează valorile minime ale parametrilor este:

$$F(a_i, b_i) = \sum_{j=1}^{p} \left(a_i + b_i t_{ij} - y_{ij}\right)^2 = \min$$

Se calculează derivatele parțiale în funcție de $a_i$ și $b_i$, și rezultă sistemul de ecuații normale scris sub formă matriceală:

$$\begin{vmatrix} p & \sum_{j=1}^{p} t_{ij} \\ \sum_{j=1}^{p} t_{ij} & \sum_{j=1}^{p} t_{ij}^2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} a_i \\ b_i \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sum_{j=1}^{p} y_{ij} \\ \sum_{j=1}^{p} y_{ij} t_{ij} \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} a_i \\ b_i \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} p & \sum_{j=1}^{p} t_{ij} \\ \sum_{j=1}^{p} t_{ij} & \sum_{j=1}^{p} t_{ij}^2 \end{vmatrix}^{-1} \cdot \begin{vmatrix} \sum_{j=1}^{p} y_{ij} \\ \sum_{j=1}^{p} y_{ij} t_{ij} \end{vmatrix}$$

– $a_i$ și $b_i$ fiind estimați, se face corecția pentru efectele sistematice ale erorii și se obține :

$$c_{ij} = y_{ij} - a_i - b_i t_{ij}$$

– valorile $c_{ij}$ sunt realizări ale variabilei aleatoare ε, care trebuie să fie staționare, deci se poate calcula :

$$s_{ci}^2 = \frac{1}{p-2} \sum_{j=1}^{p} c_{ij}^2 \ ;$$

– punctul de control pentru valorile individuale este: $|c_{ij}| < 3\, s_{ci}$;

– conform acestui criteriu se elimină valorile aberante din cele $p$ valori măsurate;

– dacă numărul de valori eliminate este mai mare decât un număr prestabilit (5–10% din $p$) se repetă măsurarea la acest nivel;

– în caz contrar datele se validează și se raportează la nivelul superior: dacă $p_i'$ este numărul de valori validate se calculează varianța punctului de coordonate $(\bar{t}_i, \bar{y}_i)$ de pe dreaptă

$$s_i^2 = s_{ci}^2 / p_i'$$

– se calculează $\sum_{j=1}^{p_i'} (t_{ij} - \bar{t}_i)^2$ ;

– se raportează la nivelul superior:

$$\bar{t}_i, \bar{y}_i, s_i, b_i, p_i', \sum_{j=1}^{p_i'} (t_{ij} - \bar{t}_i)^2$$

$(\bar{t}_I, \bar{y}_i)$ este punctul de pe dreapta de fitare care are proprietățile:

– orice dreaptă obținută prin fitarea prin metoda celor mai mici pătrate trece prin acest punct;

– termenul liber $a_i$ și panta $b_i$ ai dreptei de fitare nu sunt corelate în acest punct;

– $s_i$ este chiar incertitudinea standard de tip A asociată variabilei aleatoare ε, prin considerarea celor $p_i'$ observații.

**Nivelul 2 de redundanță**

Acest nivel de redundanță, denumit aici nivel global de redundanță, corespunde măsurării unui subset al tuturor diferențelor posibile dintre 2 etaloane din grup. Acest subset al diferențelor măsurate este descris de matricea design a intercomparării $A_{(k, n)}$, care este de forma:

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & & & & \\ 1 & 0 & 0 & \dots & -1 \end{bmatrix}$$

unde 1 pe o linie indică faptul că etalonul de pe poziția corespunzătoare intră în diferență cu semnul +, iar –1 indică faptul că etalonul corespunzător intră în diferență cu semnul –. De

exemplu, prima linie a matricei indică faptul că în prima măsurare este considerată diferența dintre primul și cel de al doilea etalon.

Modelul matematic corespunzător acestui nivel de redundanță postulează:

– valorile etaloanelor din grup sunt staționare;

– efectele sistematice ale erorii provin de la comparator;

– efectele sistematice sunt lineare în timp, deci rezultatul măsurării se poate modela astfel:

$$y(t) = a + \beta t + \varepsilon + \zeta$$

unde:

ε este o variabilă aleatoare care descrie distribuția aleatoare la nivel local, definită prin varianța pe termen scurt;

ζ este variabila aleatoare care descrie distribuția la nivel global, datorată imperfecțiunii modelului (panta nu este aceeași pe toată intercompararea) și unor efecte sistematice neidentificate (elementele de comutare), definită prin varianța pe termen lung.

– se definește restricția matematică ca produs între un vector $S_{(n,1)}$, format din 0 și 1, și vectorul etaloanelor $E_{(n,1)}$: $S' E = R$, $R \in \mathbf{R}$, unde $n$ este numărul de etaloane din grup. În vectorul $S$ un 1 pe poziția $j$ indică faptul că etalonul $e_j$ este inclus în restricția $R$.

Întrucât matricea design $A_{(k, n)}$ a intercomparării este bazată numai pe rezultatele diferențelor a 2 etaloane din grup, sistemul bazat pe această matrice este nedeterminat. Pentru a înlătura nedeterminarea este necesară o ecuație suplimentară între etaloane, independentă de ecuațiile descrise de matricea design, de exemplu bazată pe sume între etaloane. Această ecuație suplimentară se numește restricție matematică.

De exemplu, vectorul S' = (1, 1, 0, ..., 0) indică faptul că restricția $R$ este suma primelor două etaloane.

– se definește matricea intercomparărilor (design) $A_{(k, n)}$

Succesiunea operațiilor care se execută la acest nivel este:

– se preiau de la nivelul local ( $\bar{t}_i$, $\bar{y}_i$, $s_i$, $b_i$, $p_i'$, $p_i'$, $\sum_{j=1}^{p_i'} (t_{ij} - \bar{t}_i)^2$ ) $i$=1, ..., k

– se scrie sistemul de ecuații asociat intercomparării, făcând notațiile:

– $P_{(n+1, 1)}$ este vectorul necunoscutelor ($e_1$, $e_2$, ..., $e_n$, β), unde $e_i$ sunt valorile necunoscute ale etaloanelor;

– $X_{(k, n+1)}$ este matricea design extinsă la un număr de coloane mărit cu 1 prin adăugarea coloanei timpilor din care se scade timpul mediu;

– $Y_{(k, 1)}$ este vectorul valorilor estimate la nivel local;

– $H_{(n+1, 1)}$ este vectorul $S$ extins prin adăugarea unui 0 pe ultima poziție.

Ecuația sistemului (incompatibil și superdeterminat) este:

$$X_{(k, n+1)} P_{(n+1,1)} = Y_{(k, 1)}$$

Întrucât matricea $X$ nu este de rang maxim (acest fapt este valabil pentru toate matricele care descriu măsurări bazate numai pe diferențe ale etaloanelor), se poate găsi o soluție numai prin impunerea restricției matematice:

$$H'_{(1, n+1)} P_{(n+1,1)} = R_{(1, 1)}$$

Restricția matematică, descrisă uneori prin media grupului, are semnificația fizică de valoare adevărată a grupului.

Sistemul se rezolvă folosind metoda lui Gauss și a multiplicatorilor lui Lagrange. Sub formă matriceală sistemul arată:

$$\begin{bmatrix} X'X & H \\ H' & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'Y \\ R \end{bmatrix}$$

Acest sistem are proprietatea că furnizează cele mai bune estimații pentru valorile etaloanelor și pentru β, care satisfac exact restricția.

– se obțin estimațiile pentru $e_1$, $e_2$, ..., $e_n$, β (valorile etaloanelor și panta dreptei globale):

$$\hat{P} = \begin{bmatrix} X'X & H \\ H' & 0 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X'Y \\ R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ e_n \\ \beta \end{bmatrix}$$

– se determină numărul gradelor de libertate $(k+1) - (n+1) = k - n$ ;

– se determină estimația abaterii de la linearitate: se compară dreptele locale (cu parametrii ( $\bar{y}_i - b_i \bar{t}_i$, $b_i$)) cu dreapta globală (având parametrii ($\bar{y}_i - \beta \bar{t}_i$, β)) :

$$s_a^2 = \frac{1}{k-n} \sum_{i=1}^{k} \frac{1}{p_i' - 1} \sum_{j=1}^{p_i'} \left[ \left( \bar{y}_i - b_i (\bar{t})_i + b_i t_{ij} \right)^2 - \right.$$

$$\left. - \left( \bar{y}_i - b (\bar{t})_i + b\, t_{ij} \right)^2 \right] = \frac{1}{k-n} \sum_{i=1}^{k} \frac{(b-b_i)^2}{p_i' - 1} \cdot$$

$$\cdot \sum_{j=1}^{p_i'} \left( (\bar{t})_i - t_{ij} \right)^2$$

– se determină estimaţia abaterii standard datorate neînchiderii ecuaţiilor (efecte sistematice neidentificate):

$$s_e^2 = \frac{1}{k-n} \sum_{i=1}^{k} \left( \bar{y}_i - \sum_{j=1}^{n} a_{ij} e_j \right)^2$$

– se determină estimaţia abaterii standard a lui $e$ (contribuţia lui $e$ la incertitudinea pe termen scurt):

$$s_\varepsilon^2 = \frac{1}{k-n} \sum_{i=1}^{k} s_i^2$$

– se determină estimaţia abaterii standard la nivel global:

$$s_b^2 = s_a^2 + s_e^2$$

– $s_g^2 = s_\varepsilon^2 + s_b^2$; $s_g^2$ este estimaţia abaterii standard a întregii intercomparări;

– se determină matricea de covarianţă $(X'X)^{-1} = C\,(c_{ij})\ [C_{(n+1,\,n+1)}]$;

– varianţa asociată etalonului $e_i$ este $s_{ei}^2 = s_g^2\, c_{ii}$, $i = 1, ..., n$;

– varianţa asociată lui $\beta$ este $s_\beta^2 = s_g^2\, c_{n+1,\,n+1}$;

– se raportează la nivelul superior:

$e_i$, valoarea estimată pentru etalonul $i$, $i = 1, ..., n$;

$s_{ei}$, incertitudinea asociată acestei valori, $i = 1, ..., n$;

$k–n$, numărul gradelor de libertate;

$t$, momentul de timp la care s-a făcut intercompararea;

**Analiza modelului**

1. Relevanţa modelului

Dacă $|\beta| > 3\, s_\beta$ modelul este relevant în sensul că prin considerarea efectului sistematic al driftului asupra erorilor de măsurare, se obţine o micşorare semnificativă a acestei erori.

În caz contrar, această îmbunătăţire, deşi există, este nesemnifictivă.

2. Adecvarea modelului

Dacă $|\beta - b_i| < 3\, s_\beta$ pentru orice $i = 1, ..., k$ modelul este adecvat.

În caz contrar modelul poate fi îmbunătăţit prin luarea în considerare a termenilor de ordin doi sau chiar mai mult.

**Nivelul 3 de redundanţă**

Efectul timpului asupra măsurării poate fi ignorat doar în foarte puţine cazuri. Imposibilitatea de a menţine condiţii identice de mediu, variaţii ale performanţelor comparatorului, modificări ale procedurilor de măsurare, schimbarea operatorilor sau chiar variaţii ale măsurandului, conduc la variaţii ale rezultatelor în timp.

Redundanţa realizată la nivelele 1 şi 2, deci în interval de câteva ore, conduce la incertitudini mult mai mici decât incertitudinile rezultate din repetarea măsurărilor la intervale mari de timp. Această incertitudine suplimentară, datorată variaţiilor pe termen lung, compusă cu incertitudinea pe termen scurt reprezintă un mod foarte realist de a estima limitele în care se pot încadra, în mod rezonabil, rezultatele măsurărilor la un moment dat.

Modelul matematic nu este niciodată complet sau perfect, iar diferenţa dintre model şi realitate conduce la apariţia unei incertitudini suplimentare, datorată efectelor sistematice neidentificate, incertitudine care este mult mai semnificativă la măsurările pe termen lung.

Modelarea necorespunzătoare a măsurării pe termen lung poate conduce la apariţia a două situaţii extreme:

1. Efectele sistematice şi aleatorii ale erorii pe termen lung sunt ignorate, ceea ce face ca atât valorile raportate cât şi incertitudinile acestora să fie eronate;

2. Nerecunoaşterea caracterului imperfect al modelului duce la o încercare inutilă de îmbunătăţire a acestuia întrucât există un nivel de modelare de la care nu mai există algoritmi care să reducă efectele sistematice sau aleatorii ale erorii.

Nivelul 3 de redundanţă corespunde caracterizării comportării etaloanelor pe o perioadă lungă de timp.

Modelul matematic corespunzător acestui nivel postulează:

– etaloanele variază în timp după o lege lineară

$$e(t) = \alpha + \xi\, t + \gamma + \eta$$

unde :

$\gamma$ este o variabilă aleatorie care descrie varianța pe termen scurt a rezultatelor măsurărilor, asociată instrumentației, raportată de la nivelul 2;

$\eta$ este o variabilă aleatorie care descrie varianța pe termen lung, asociată: i) variației mediului, ii) imperfecțiunii modelului, iii) erorilor de operator;

– variabilele aleatorii $\eta$ și $\gamma$ sunt independente între ele;

– există puncte de control pentru valori individuale și pentru analiza varianței (asigurarea măsurării).

Succesiunea operațiilor care se execută la acest nivel este:

– se preiau de la nivelul 2 valorile asociate intercomparării $m$:

$e_{m,i}$, valoarea estimată pentru etalonul $i$, $i = 1, ..., n$;

$s_{m,ei}$, incertitudinea asociată acestei valori, $i = 1, ..., n$;

$\nu_m = k–n$, numărul gradelor de libertate;

$t_m$, momentul de timp la care s-a făcut intercompararea.

– asigurarea măsurării începe cu crearea unei arhive inițiale pentru fiecare etalon din grup, în care sunt înregistrate rezultatele intercomparărilor anterioare preluate de la nivelul 2; în arhiva corespunzătoare etalonului $i$ se află $nr_i$ înregistrări. Arhiva se crează în condiții de securitate maximă a măsurărilor;

– după crearea arhivei inițiale, rezultatele fiecărei intercomparări se verifică din punct de vedere al controlului statistic;

– controlul statistic se referă la variabilele aleatorii $\eta$ și $\gamma$; aceste variabile aleatorii sunt considerate în stare de control statistic dacă sunt staționare în sens restrâns;

– se estimează prin metoda celor mai mici pătrate parametrii $\alpha_i$ și $\xi_i$ ai dreptei de fitare prin cele $nr_i$ puncte $(e_{j,i}, t_j)$ aflate în arhivă ($j = 1, ..., nr_i$);

– $\alpha_i$ și $\xi_i$ fiind estimați, se face corecția pentru efectele sistematice ale erorii: $d_{jj} = e_{ji} - \alpha_i + \xi_i\, t_j$;

– se calculează varianța pe termen lung a rezultatelor din arhivă pentru fiecare etalon, corectate față de efectele sistematice:

$$s_{bi}^2 = \frac{1}{n\, r_i - 2} \sum_{j=1}^{n\, r_i} d_{ji}^2$$

– se aplică asupra datelor preluate de la nivelul 2 testul de staționaritate, prin compararea acestora cu datele aflate în arhivele corespunzătoare. Testul de staționaritate se aplică la 2 niveluri:

1) se testează existența limitei mediilor pe termen lung. Dacă $|e_{mi} - \alpha_i + \xi_i\, t_m| < 3\, s_{bi}$, $i = 1, ..., n$ procesul este considerat în stare de control statistic din punct de vedere al mediei (testul $t$).

2) se testează existența limitei momentelor centrate de ordinul 2 pe termen lung:

– se determină abaterile standard ponderate ale valorilor din arhivă:

$$s_{p\,i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n\, r_i} \nu_j\, s_{j,e\,i}^2}{\sum_{j=1}^{n\, r_i} \nu_j}$$

Dacă:

$$\frac{s_{m,e\,i}^2}{s_{p\,i}^2} < F_\alpha \left(\nu_m, \sum_{j=1}^{n\, r_i} \nu_j\right)$$

procesul este considerat în stare de control statistic din punct de vedere al momentelor centrate de ordinul 2 (testul $F$).

**Etalonul (virtual) de control**

De cele mai multe ori, avem nevoie să caracterizăm pe timp lung întregul proces de măsurare, izolând problemele care pot să apară pe de o parte din cauza variației în timp a etaloanelor, iar pe de altă parte din cauza degradării condițiilor de măsurare și, în special, a degradării instrumentației (aparate, procedee, algoritmi de calcul). Acest lucru se realizează cu ajutorul conceptului de etalon (virtual) de control.

Un etalon (virtual) de control este o combinație lineară a valorilor unor etaloane din grup, combi-

nație care trebuie să fie independentă față de restricția matematică de la nivelul 2 (de exemplu bazat pe diferențe ale valorilor unor etaloane).

Din punct de vedere statistic, un etalon (virtual) de control este tratat în mod similar cu fiecare etalon al grupului, prin aplicarea testului *t* și a testului *F*.

Aplicarea simultană a testului *t* și a testului *F* fiecărui etalon din grup și fiecărui etalon de control reprezintă un mijloc foarte puternic de verificare a stării de control statistic a procesului de măsurare. În cazul în care starea de control statistic este satisfăcută, rezultatele ultimei intercomparări pot fi introduse în arhivă.

În cazul în care starea de control statistic nu este satisfăcută, pot apărea următoarele situații:

1) unul sau mai multe etaloane din grup sunt în afara controlului statistic; în această situație semnul de întrebare se pune asupra etaloanelor respective.

2) unul sau mai multe etaloane (virtuale) de control sunt în afara controlului statistic; în această situație semnul de întrebare se pune asupra instrumentației.

3) atât unele etaloane, cât și unele etaloane (virtuale) de control sunt în afara controlului statistic; în această situație întreg grupul este compromis și trebuie reevaluat prin raportarea la un etalon ierarhic superior.

## Concluzii

În lucrare este abordată folosirea metodei celor mai mici pătrate în cazul intercomparării etaloanelor de grup, *considerând măsurările ca procese*. Este prezentat *rolul restricțiilor matematice* în eliminarea nedeterminării sistemelor de ecuații care rezultă numai din măsurarea diferențelor valorilor etaloanelor. Este detaliată *ierarhizarea redundanței* pe trei niveluri, corespunzătoare efectuării măsurărilor pe termen scurt, mediu și lung, fiecărui nivel fiindu-i asociat un *model matematic*:

– la nivelul 1 de redundanță, corespunzător efectuării măsurărilor pe termen scurt, efectele sistematice ale erorii provin de la driftul comparatorului;

– la nivelul 2 de redundanță, corespunzător efectuării măsurărilor pe termen mediu, efectele sistematice ale erorii provin comparator și de la elementele de comutare ale perechilor de etaloane;

– la nivelul 3 de redundanță, corespunzător efectuării măsurărilor pe termen lung, efectele sistematice ale erorii sunt datorate variațiilor condițiilor de mediu, erorilor de operator și imperfecțiunii modelului matematic.

Este descrisă o metodă software de *eliminare a efectelor sistematice ale erorilor datorate driftului comparatorului*. Prin introducerea conceptului de *etalon (virtual) de control*, există posibilitatea de a monitoriza calitatea măsurării pe termen lung.

*BIBLIOGRAFIE*

[1] *Cameron, J. M.*, "Measurement assurance", NBSIR 77–1240, 1977

[2] *Croarkin, C.*, "Measurement assurance programs", NBS SP676-II, 1985

[3] *Cameron, J. M.*, Hailes, G. E., "Designs for calibration of small groups of standards in the presence of drift", NBS TN844, 1974

[4] *Croarkin, C.*, "An extended error model for comparison calibration", Metrologia 26, 1989

[5] *Cameron, J. M.*, " The use of the method of least squares in calibration", BSIR 74-587, 1974

[6] *Popa, E., Bordescu, E.*, "Sistem automat pentru etalonarea elementelor normale", studiu INMB, 1994

# Dispozitive cu traductor Hall pentru verificarea şi determinarea numărului de spire al bobinelor electrice

AVRAM HELER
I. VETREŞ
ŞT. HĂRĂGUŞ *)

**Abstract:** *The paper presents the possibility to verify and determine the number of turns of the electric coils using a Hall transducer. The authors realized and tested two such devices using the same magnetic circuit and the same Hall probe (Siemens type SBV-599). The experimental results and the relative errors of the measurements (which are less than 3 %) are presented.*

**Résumé:** *On présente la possibilité de vérifier et de detérminer le nombre des spires des bobines électriques en utilisant un capteur Hall. Les auteurs ont réalisé et ont fait d'essai pour deux variantes de ce sort de capteur, en utilisant le męme circuit magnétique et la même sonde Hall (type SBV-599). On présente les resultats obtenus et les erreurs rélatives des mesurages, qui sont moins que 3 %.*

## 1 Introducere

Bobina electrică reprezintă un element de circuit electric constituit dintr-un anumit număr de spire înseriate, care îmbrăţişează practic acelaşi circuit magnetic, fie pentru a produce o anumită tensiune magnetomotoare (când spirele sunt parcurse de curent electric), fie pentru a fi sediul unei tensiuni electromotoare induse (când spirele sunt străbătute de un flux magnetic variabil în timp). Bobina electrică, sub diferite forme constructoare, este utilizată în diverse domenii ele electrotehnicii, electronicii, telecomunicaţiilor, automatizărilor etc.

Bobina electrică, ca element de circuit electric, este caracterizată prin mai mulţi parametri de circuit, dintre care cel mai important este inductivitatea (inductanţa) proprie $L$, care în SI se măsoară în henry (H). Inductivitatea proprie a unei bobine se poate exprima în forma:

$$L = \frac{N^2}{R_m}, \qquad (1)$$

unde:

$N$ numărul de spire al bobinei;
$R_m$ reluctanţa magnetică a circuitului magnetic al bobinei.

Circuitul magnetic poate fi constituit din aer, din materiale feromagnetice sau din porţiuni alternante material feromagnetic-aer (întrefieruri).

Tensiunea electromotoare indusă într-o bobibă cu $N$ spire, al cărei circuit magnetic este străbătut de fluxul magnetic sinusoidal $\Phi = \Phi_m \sin 2\pi ft$, are valoarea efectivă

$$U_e = 4{,}44\, N f \Phi_m \qquad (2)$$

Din relaţiile (1) şi (2) rezultă că numărul de spire $N$ reprezintă un indicator esenţial al performanţelor funcţionale ale bobinelor. Verificarea, respectiv determinarea experimentală a numărului de spire al unei bobine, au stat în atenţia producătorilor şi utilizatorilor de sisteme tehnice care conţin bobine electrice. În literatura de specialitate sunt prezentate diferite metode şi mijloace pentru verificarea sau determinarea numărului de spire al bobinelor electrice [1]. Prezenta lucrare completează aceste mijloace cu o nouă metodă, bazată pe utilizarea traductorului Hall.

## 2 Traductorul Hall

Traductorul Hall funcţionează pe baza efectului Hall, efect care constă în apariţia unui câmp electric transversal într-un corp metalic sau semiconductor parcurs de curent electric şi plasat într-un câmp magnetic. În figura 1 este prezentată

*) Universitatea Tehnică Timişoara, Facultatea Electrotehnică.

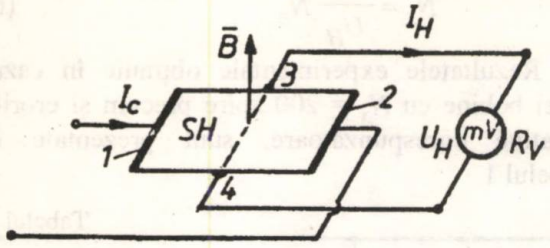



Fig. 1. Schema electrică a unui generator Hall.

schema electrică a unui generator Hall, în care s-au făcut notațiile:

*SH* plăcuță semiconductoare, de lungime *l*, lățime *b* și grosime *d*;

1; 2 electrozi metalici de comandă, repartizați pe toată lățimea *b* a plăcuței, servind la injectarea curentului de comandă $I_C$, care străbate longitudinal plăcuța;

3; 4 electrozi Hall, punctiformi, care în absența câmpului magnetic de inducție *B* sunt situați pe o linie echipotențială; între acești electrozi apare, în prezența câmpului magnetic, o tensiune numită tensiune Hall;

$I_H$ curentul electric din circuitul Hall.

$R_V$ rezistența internă a milivoltmetrului *mV* cu care se măsoară tensiunea Hall.

Literatura de specialitate [2;3] indică pentru tensiunea electromotoare Hall, când circuitul Hall este în gol, următoarea expresie:

$$U_{H0} = G\frac{R_H}{d} I_C B = K_0 I_C B \qquad (3)$$

unde:

*G* factor subunitar care ține seama de forma plăcuței (raportul $1/b$), de influența formei și dimensiunilor electrozilor de comandă și Hall, respectiv de influența inducției magnetice pentru diferite forme geometrice ale plăcuței;

$R_H$ constanta Hall, care depinde de proprietățile fizice ale materialului plăcuței și a cărei valoare este influențată de temperatură și de mărimea inducției magnetice a câmpului în care este plasată sonda;

$K_0$ sensibilitatea în gol al traductorului Hall.

Din relația (3) rezultă caracterul de element multiplicator al generatorului Hall, tensiunea $U_{H0}$ fiind o măsură a produsului mărimilor $I_C$ și *B*. Dacă una din cele două mărimi este menținută constantă, atunci se obține un traductor Hall. Mărimea de intrare este *B*, la $I_C$ = const., sau $I_C$, la *B* = const., iar mărimea de ieșire este $U_{H0}$.

Notând cu $R_{34}$ rezistența plăcuței între electrozii 3 și 4, tensiunea Hall a generatorului în sarcină este

$$U_H = U_{H0} - R_{34} I_H \qquad (4)$$

Exprimând curentul Hall în forma $I_H = U_{H0} / (R_v + R_{34})$, prin înlocuire în (4) se obține

$$U_H = U_{H0}\left(1 - \frac{R_{34}}{R_{34} + R_V}\right) =$$

$$= G\frac{R_H}{d}\left(1 - \frac{R_{34}}{R_{34} + R_V}\right) I_C B = K I_C B\,, \qquad (5)$$

*K* fiind sensibilitatea în sarcină a generatorului Hall. Dacă se admite curentul de comandă $I_C$ constant, atunci relația (5) devine $U_H = K_B B$, unde $K_B = K I_C$ reprezintă sensiblitatea în sarcină a traductorului Hall considerat.

Multiplicatorul, respectiv traductorul Hall, permite o multitudine de aplicații în domeniul măsurării mărimilor electrice și neelectice. O parte din aceste aplicații au stat în atenția autorilor [3; 4; 5; 6]. În prezenta lucrare autorii își propun să utilizeze traductorul Hall la realizarea unui dispozitiv pentru verificarea și determinarea numărului de spire al unei bobine.

## 3 Dispozitive cu traductor Hall pentru determinarea numărului de spire al unei bobine electrice

În lucrare se propun două dispozitive, ambele având un traductor Hall al cărui circuit magnetic are forma și dimensiunile din figura 2. După cum se vede, circuitul magnetic este în formă de *U*, închis cu o armătură în formă de *I*. Circuitul este prevăzut cu un întrefier în care este plasată sonda Hall.

*a*) În cazul primului dispozitiv propus și experimentat de autori, pe coloana cu întrefierul se așază o bobină etalon cu $N_e$ spire, parcursă de curentul continuu $I_B$. Se etalonează circuitul magnetic, în sensul că la $N_e$ și $I_C$ dați se ridică experimental caracteristica $U_H = f(I_B)$. Pentru cazul $N_e$ = 1000 spire, $I_C$ = 20 mA, $\delta$ = 1 mm și folosind o sondă Hall tip SBV-599 (Siemens), s-a obținut caracteristica $U_H = f(I_B)$ reprezentată în

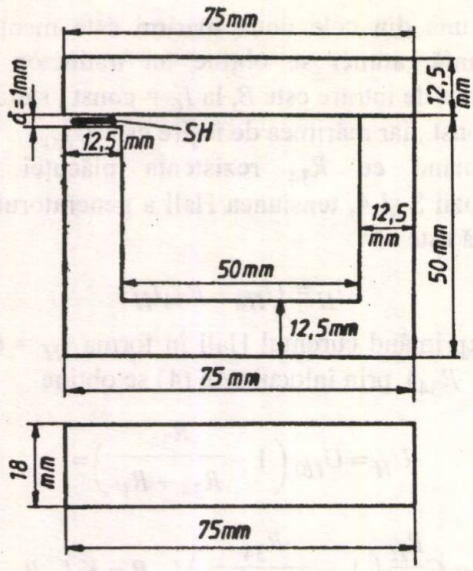



Fig. 2. Forma şi dimensiunile geometrice ale circuitului magnetic realizat.

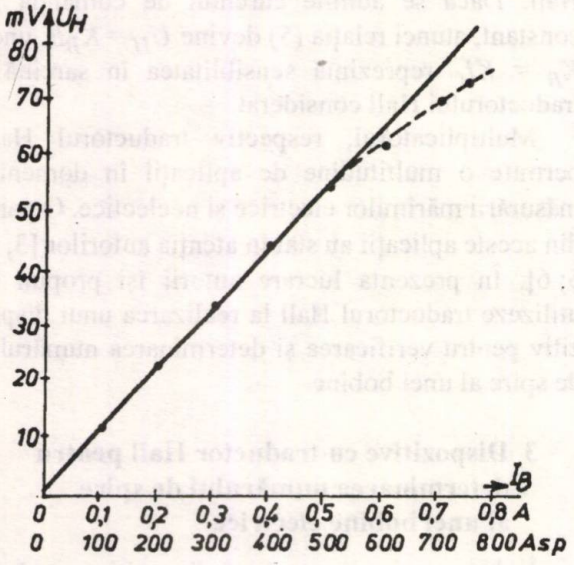



Fig. 3. Caracteristica $U_H = f(I_B)$, respectiv $U_H = f(I_B N_e)$ pentru $N_e = 1000$ spire.

figura 3. Se observă că până la $I_B$ = 0,4 A, adică 400 amperspire, caracteristica este liniară. Dacă ne referim la porţiunea liniară a a caracteristicii $U_H = f(I_B)$, atunci din relaţia (5) tensiunea Hall se poate exprima în forma $U_H = K_B' N_e I_B$, $K_B'$ incluzând acum şi geometria circuitului magnetic.

Înlocuind bobina etalon cu bobina al cărei număr $N_x$ de spire este necunoscut se obţine, la acelaşi curent $I_B$, relaţia $U_{Hx} = K_B' N_x I_B = U_H N_x / N_e$, care permite determinarea numărului de spire necunoscut.

$$N_x = \frac{U_{Hx}}{U_H} N_e \qquad (6)$$

Rezultatele experimentale obţinute în cazul unei bobine cu $N_x$ = 200 spire precum şi erorile relative corespunzătoare, sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1

| $I_B$ [A] | $U_H$ [mV] | $U_{Hx}$ [mV] | $N_x$ (cf. rel. 6) | ε [%] |
|---|---|---|---|---|
| 0,1 | 11,7 | 2,4 | 205 | 2,5 |
| 0,2 | 22,85 | 4,46 | 195 | +2,5 |
| 0,3 | 33,9 | 6,6 | 194,7 | +2,65 |
| 0,4 | 44,5 | 8,76 | 198 | +1 |

Trebuie menţionat că erorile sunt influenţate şi de manifestarea remanenţei şi dispersiei magnetice aa circuitului magnetic utilizat.

*b*) În cazul celui de-al doilea dispozitiv, bobina etalon rămâne pe coloana circuitului magnetic cu întrefier, iar bobina cu numărul de spire $N_x$, necunoscut se plasează pe cealaltă coloană, fără întrefier (figura 4). Cele două bobine sunt legate în serie şi în opoziţie.

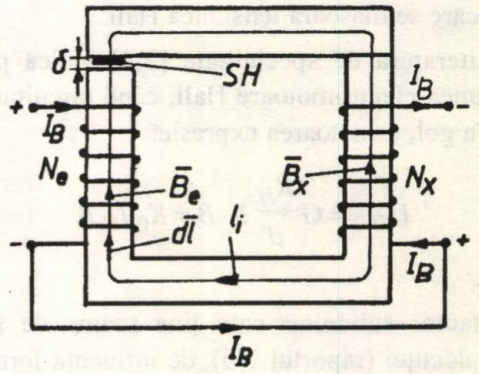



Fig. 4. Schema de principiu pentru varianta cu bobine pe ambele coloane.

Neglijind câmpul magnetic de dispersie, aplicând teorema lui Ampere pe conturul închis reprezentat de linia mijlocie $l_i$ a circuitului magnetic, se obţine:

$$\oint_{l_i} \bar{H} \cdot \mathrm{d}\, l = H_f l_f + H_\delta \delta = N_e I_B - N_x I_B \qquad (7)$$

în care $H_f$ şi $H_\delta$ reprezintă intensităţile câmpului magnetic în materialul feromagnetic, respectiv în întrefier, iar $l_f$ şi δ sunt lungimile mijlocii ale

porţiunilor respective. Circuitul magnetic având aceeaşi secţiune transversală în lungul său şi neglijând remanenţa magnetică, intenstităţile $H_f$ şi $H_\delta$ se pot exprima în funcţie de inducţia magnetică rezultantă $B$ din întrefier, astfel că relaţia (7) devine:

$$B\left(\frac{l_f}{\mu}+\frac{\delta}{\mu_0}\right)=I_B\,(N_e-N_x) \qquad (8)$$

în care $\mu_0$ este permeabilitatea magnetică a vidului, iar $\mu$ a materialului feromagnetic. Din această relaţie se obţine legătura dintre inducţia magnetică $B$ şi solenaţie:

$$B=K_B I_B(N_e-N_x) \qquad (9)$$

în care $K_B=\mu_0\,\mu_r/(l_f+\mu_r\delta)$, $\mu_r$ fiind permeabilitatea magnetică relativă a materialului feromagnetic.

În ipoteza că se menţin constanţi $I_C$ şi $I_B$, din relaţiile (5) şi (9) se obţine pentru tensiunea Hall expresia:

$$U_H=K_N(N_e-N_x) \qquad (10)$$

unde $K_N=KK_B I_B I_C$.

În mod similar se găseşte, pentru situaţia că se alimentează numai bobina etalon expresia:

$$U_{He}=K_N N_e \qquad (11)$$

Din relaţiile (10) şi (11) se obţine expresia numărului de spire în funcţie de cele două tensiuni Hall $U_H$ şi $U_{He}$:

$$N_x=N_e\left(1-\frac{U_H}{U_{He}}\right) \qquad (12)$$

Întrucât $K_N > 0$, semnul tensiunii Hall, aşa cum rezultă din relaţia (10), este pozitiv dacă $N_x < N_e$ şi negativ în caz contrar. Prin urmare, folosind un milivoltmetru magnetoelectric cu diviziunea "0" la mijlocul scării, acesta poate fi etalonat direct în număr de spire, la $N_e$ dat. Diviziunea "0" corespunde în acest caz cu $N_e$.

Pe baza schemei din figura 4, bobinele având $N_e = 1000$, respectiv $N_x = 200$ spire, s-au măsurat tensiunile Hall $U_H$ şi $U_{He}$ pentru două valori ale curentului $I_B$.

Tabelul 2

| $I_B$ [A] | $U_H$ [mV] | $U_{Hx}$ [mV] | $N_x$ (cf. rel. 6) | ε [%] |
|---|---|---|---|---|
| 0,2 | 18,25 | 22,85 | 201,31 | 0,65 |
| 0,3 | 27,25 | 33,9 | 196,16 | 1,92 |

## 4 Concluzii

Dispozitivele propuse în lucrare completează în mod avantajos celelalte metode menţionate în literatura de specialitate privind determinarea numărului de spire al bobinelor electrice.

Aceste dispozitive permit verificarea şi determinarea numărului de spire al bobinelor, respectiv pot fi folosite la sortarea bobinelor produse în serie mare. Informaţia conţinută în tensiunea Hall referitoare la numărul de spire al bobinei testate poate fi prelucrată după necesităţi (înregistrare, transmisie la distanţă etc.).

Măsurările efectuate de autori şi rezumate în tabelele 1 şi 2 arată că precizia metodei este acceptabilă. Se poate obţine o îmbunătăţire a preciziei dacă se iau măsuri de reducere a remanenţei circuitului magnetic şi a dispersiei.

*BIBLIOGRAFIE*

[1] *Aronovici E.*, Aparat electronic pentru determinarea numărului de spire şi al scurtcircuitelor în bobinajele mici, Electrotehnica, 1957, nr. 8, p. 262

[2] *Şora C.*, Introducere în studiul generatorului Hall, Ed. Academiei, 1969

[3] *Heler A.*, Contribuţii teoretice şi experimentale privind folosirea efectelor galvanomagnetice din materiale semiconductoare la măsurarea puterilor electrice, Teză de doctorat, I.P.Timişoara, 1966

[4] *Vetreş I., Radu D.*, Analiza circuitului magnetic al unui traductor de curent, Acta Univ. Cibi., vol. 20, seria tehnică, Sibiu, 1995, p. 117.

[5] *Heler A.*, Posibilitatea măsurării forţei de întindere într-un cablu folosind traductorul Hall, E.E.A., Electrotehnică, Bucureşti, 1990, nr. 8, p. 305

[6] *Heler A., Vetreş I.*, Noi posibilităţi de folosire a traductorului Hall în tehnica măsurării mărimilor neelectrice, Analele Univ., „Eftimie Murgu" Reşiţa, fasc. IV, an III, 1996, p. 135.

# Metodă de determinare a coeficientului de compresibilitate al lichidelor

NECULAI MOISOI *)

**Abstract:** *The paper presents an indirect method for measuring the compressibility of coefficient of liquids, based on the displacement of a piston in a cylinder. The novelty of the method, i.e., the use of a counter-pressure cylinder and of the Michelson interferometer to measure the change in volume, is emphasized. Thus, the uncertainty with which the compressibility coefficient is measured is reduced, being determined by the performance of the interferometric system and by the quality of the piston-cylinder surface treatment. The method may be used in a relatively wide pressure range, provided the strain of the cylinder is elastic within the pressure range.*

**Résumé:** *L'article présente une méthode indirecte pour mesurer le coefficient de compréssibilité des liquides, basée sur le déplacement d'un piston dans un cylindre. On réleve la nouveauté de la méthode qui réside en l'utilisation d'un cylindre contre-pression et de l'interféromètre Michelson pour mesurer la variation du volume. Ainsi, l'incertitude avec laquelle le coefficient de compréssibilité est mesuré est diminuée etant detérminé par la performance de l'interféromètre et par la qualité de l'usinage de la surface de contact piston-cylindre. La méthode peut être utilisée dans un intervalle de préssions aussi étendu, à condition que la déformation du cylindre est élastique dans l'intervalle de pressions.*

## 1 Introducere

În tratarea matematică a fenomenelor din sfera fizicii fluidelor se consideră că lichidele sunt ideale (nu sunt compresibile şi nu prezintă vâscozitate). Totuşi, lichidele reale sunt compresibile şi în activitatea practică este necesară cunoaşterea compresibilităţii acestora.

*) Institutul Naţional de Metrologie, şos. Vitan Bârzeşti, nr. 11, sector 4, Bucureşti.

*Mecanismul comprimării lichidelor*

S-a constatat experimental că până la presiuni de 1000 bar compresibilitatea scade la jumătate din valoarea sa iniţială, după care se reduce drastic până la 6000 bar şi mai departe. Explicaţia naturală este aceea că, la presiuni joase, există spaţii apreciabile între molecule şi cea mai mare parte a compresibilităţii, în acest caz, se datorează micşorării acestor spaţii. La presiuni mari, aceste spaţii sunt puternic micşorate, moleculele comportându-se ca nişte sfere semirigide, acţionând unele asupra celorlalte. Comprimarea aceasta a moleculelor însăşi este mult mai redusă, fapt pus în evidenţă şi de dependenţa coeficientului de compresibilitate de presiune.

Coeficientul de compresibilitate este definit de ecuaţia

$$k = -\frac{V_{p,t} - V_{0,t}}{V_0} \tag{1}$$

unde:

- $k$ coeficientul de compresibilitate;
- $V_{p,t}$ volumul ocupat de fluidul la presiunea $p$ şi temperatura $t$;
- $V_{0,t}$ volumul iniţial ocupat de fluid la presiunea atmosferică şi $p_0$ şi temperatura $t$;
- $V_0$ volumul ocupat de fluid la temperatura de referinţă $t_0$ ($t_0 = 20^\circ C$) şi presiunea atmosferică $p_0$.

Măsurările anterioare ale coeficientului de compresibilitate au fost făcute cu incertitudini de determinare de ordinul $10^{-4}$. Pentru a reduce incertitudinea de măsurare obţinută de M. Millet şi G. Jenner (Laboratoire de Chimie Organique Appliquée) [2] am propus un nou mod de măsurare pentru variaţiile de volum.

## 2 Dispozitivul experimental

Dispozitivul experimental este constituit din trei părţi principale: sistemul de producere a

presiunii, sistemul interferometric pentru determinarea variației de volum și manometrul cu rezistența din manganină. Acest sistem este prezentat în schema de principiu din figura 1. În această figură s-au folosit notațiile:

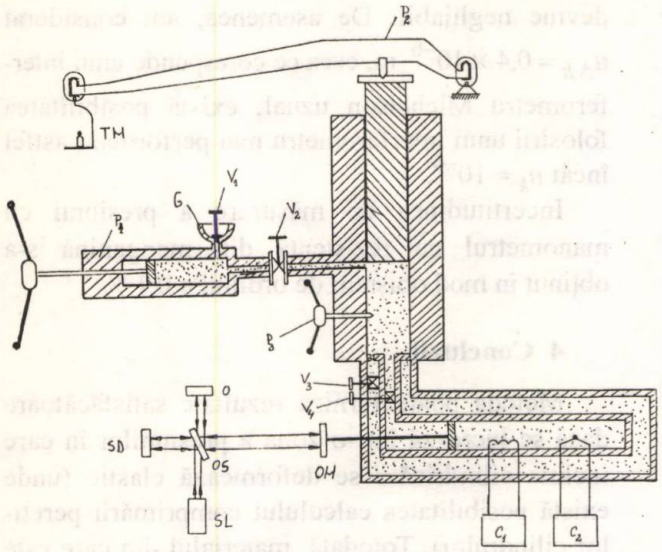



Fig. 1. Dispozitiv experimental pentru determinarea compresibilității lichidelor

| | |
|---|---|
| $P_1, P_2, P_3$ | pompe pentru producerea presiunii; |
| $V_1, V_2, V_3$ | ventile; |
| $O$ | oglindă; |
| $OM$ | oglinda mobilă; |
| $OS$ | oglindă semitransparentă; |
| $SD$ | sistem de detecție; |
| $SL$ | sursă de lumină; |
| $P$ | piston mobil; |
| $M$ | manometru cu rezistență din manganină; |
| $T$ | termocuplu; |
| $C_1, C_2$ | circuite de măsurare; |
| $G$ | gură de umplere; |
| $TM$ | taler. |

Prin intermediul pompelor $P_1$, $P_2$, $P_3$ se poate varia presiunea astfel: se creează o presiune de ordinul a câtorva sute de bar cu pompa $P_1$ după care se închide ventilul $V_2$ și cu ajutorul pompei $P_2$ se aduce presiunea în apropierea unei valori aproximativ egale cu cea dorită (prin așezarea unor greutăți pe talerul *TM*). Pentru reglarea fină se utilizează pompa $P_3$, cu secțiunea pistonului mult mai mică decât a lui $P_1$ sau $P_2$. În momentul în care are loc variația presiunii în sistem, pistonul *P* se va deplasa, antrenând și oglinda mobilă *OM*, deplasare care este măsurată cu ajutorul sistemului interferometric. În timpul determinărilor, după atingerea unei presiuni dorite se închid $V_3$ și $V_4$ pentru a nu înregistra scăderi de presiune. Totodată, presiunea se determină cu ajutorul manometrului cu manganină, care trebuie în prealabil etalonat (se etalonează de obicei în câteva puncte) la presiuni de până la 1000 bar, valorile mai mari ale presiunii fiind determinate prin extrapolarea curbei obținute. Incinta *I* este în fapt un cilindru de contrapresiune, iar deformările acestuia datorate presiunii interioare sunt teoretic compensate datorită exercitării pe pereții exteriori a unei presiuni aproximativ egală cu cea interioară. Totuși, trebuie luată în calcul deformarea datorată comprimarii pereților cilindrului (deformare care poate fi calculată dupa elaborarea proiectului cilindrului).

Atât manometrul cu manganină, sistemul interferometric (interferometru Michelson) cât și termocuplul sunt prezentate pe larg în literatura de specialitate [1,4], nefăcând obiectul acestei lucrări.

## 3 Relația de calcul a coeficientului de compresibilitate. Incertitudinea de determinare

Cu ajutorul sistemului interferometric (care poate sesiza nu numai valoarea deplasării lungimii cilindrului ci și sensul acesteia) se determină variația lungimii cilindrului, astfel încât variația volumului lichidului din incinta *I* este dată de relația:

$$-\Delta V = \pi R_0 \Delta h \tag{2}$$

unde:

$R_0$ raza interioară a cilindrului;
$\Delta h$ lungimea deplasării pistonului mobil.

Dacă volumul inițial (la $t_0 = 20^\circ C$ și $p = p_0$) este

$$V_0 = \pi R_0^2 h_0 \tag{3}$$

cu $h_0$, lungimea inițială a cilindrului, atunci coeficientul de compresibilitate, într-o primă aproximație, va fi dat de formula:

$$k = -\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta h}{h_0} \tag{4}$$

Ținându-se cont și de deformarea cilindrului (figura 2) și a pistonului mobil, datorită compri-

mării acestora, volumului trebuie să-i aplicăm o corecție:

$$\Delta V_c = \pi \Delta R (\Delta h_1 + \Delta h_2) \quad (5)$$

Această corecție, precum și cea a variației de volum datorată temperaturii pot fi calculate numai după proiectarea sistemului.

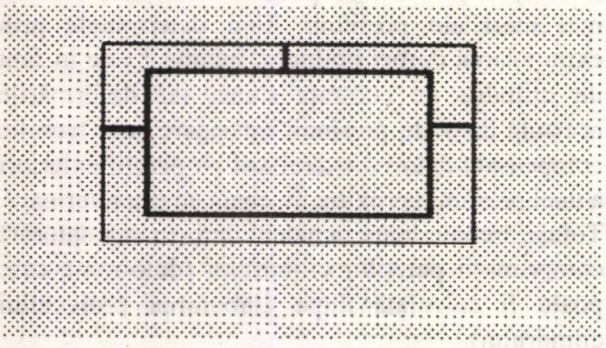


Fig. 2. Comprimarea cilindrului sub influența presiunii

După efectuarea mai multor măsurări pentru o anumită presiune se va determina incertitudinea de măsurare (determinând cele două componente: $u_A$ din șirul datelor obținute și $u_B$, care va cuprinde incertitudinile datorate variației volumului cu presiunea și temperatura, precum și pe cele datorate prelucrării sistemului). Într-o primă aproximație, incertitudinea de măsurare asociată lui $k$ este:

$$u_k = \frac{h_0 u_{\Delta h} + \Delta h u_{h_0}}{h_0^2} \quad (6)$$

unde $u_{\Delta h}$, $u_{h_0}$ sunt incertitudinile de măsurare ale lui $\Delta h$, respectiv $h_0$

Printr-o bună prelucrare a cilindrului $u_{h_0} = 10^{-6}$ m, iar cu ajutorul sistemului interferometric se poate obține ușor $u_{\Delta h} = 0{,}4 \times 10^{-6}$ m..

Pentru un cilindru cu lungime $h_0 = 4 \times 10^{-2}$ m ecuația (6) devine

$$u_k = 10^{-5} + 6{,}2 \times 10^{-4} \Delta h \quad (7)$$

Se vede că pentru $\Delta h \leq 0{,}5 \times 10^{-2}$ m, care este aproximativ deplasarea pistonului în cazul comprimării unor lichide de natură organică (alcool etilc, alcooli butilici, benzen etc), al doilea termen devine neglijabil. De asemenea, am considerat $u_{\Delta h} = 0{,}4 \times 10^{-6}$ m, ceea ce corespunde unui interferometru Michelson uzual; există posibilitatea folosirii unui interferometru mai performant astfel încât $u_k \approx 10^{-6}$.

Incertitudinea de măsurare a presiunii cu manometrul cu rezistență din manganină s-a obținut în mod obișnuit de ordinul a 0,1 %.

## 4 Concluzii

Metoda poate furniza rezultate satisfăcătoare dacă se lucrează într-o zonă a presiunilor în care incinta cilindrică $I$ se deformează elastic (unde există posibilitatea calculului comprimării pereților cilindrului). Totodată, materialul din care este confecționată incinta trebuie să fie cât mai omogen, astfel încât deformările cu presiunea sau temperatura să fie uniforme, cu trimitere directă la incertitudinile de măsurare cu care se fac corecțiile asociate acestor două fenomene.

Această lucrare constituie o abordare teoretică a metodei, punerea acesteia în practică fiind obiectul unor lucrări ulterioare.

*BIBLIOGRAFIE*

[1] *Bridgman, P.*, "The Physics of High Pressure" (Bell & Sons, London),1958

[2] *Millet, M., Jenner, G.*, "Relations pression-volume-temperatures des bromures d'alcoyle primaires. Compression isoterme du bromoethane et du bromo-1-butane", High Temperatures-High Pressures, , Vol 1,1969 p 697–704

[3] *Millet, M., Jenner, G.*, "Etude des relations P-V-T des bromures d'alcoyle primaires", Journal de Chimie Physique et de Physico-Chimie Biologique, Tome 67, No 9, 1970, p 1667–1669

[4] *Toader, E. I.*, "Aparate Optice", Editura Științifică, București, 1995, p. 136.

## INFORMAȚII

# A 7-a reuniune a Comitetului COOMET

În zilele de 23-25 aprilie 1997 a avut loc la Braunschweig, Germania, într-una din sălile de seminarii ale PTB (Physikalisch–Technische Bundesanstalt), a 7-a reuniune a Comitetului COOMET (Cooperarea în metrologie a țărilor din centrul și estul Europei).

Au participat delegați ai organizațiilor membre COOMET din Belarus, Bulgaria, Germania, Lituania, Rep. Moldova, Polonia, România, Rusia, Slovacia și Ucraina.

Reuniunea a fost prezidată de dl *Robert Spurny* (Slovacia), președintele COOMET.

Au mai participat, ca invitați, dnii *Ernst Göbel*, președintele PTB; *Bernard Athané*, directorul BIML; *Volkmar Kose*, reprezentant al EUROMET; *Wilfried Schulz*, reprezentant al WELMEC.

Raportul asupra celei de a 6-a reuniuni a Comitetului COOMET (1996) a fost aprobat, cu unele modificări și completări propuse de delegați. Au fost de asemenea aprobate unele modificări ale Regulilor de Procedură ale COOMET, conform celor discutate la reuniunea din 1996.

Prin hotărârea unanimă a membrilor comitetului, Comitetul de Standarde și Metrologie al Republicii Moldova a devenit organizație membră a COOMET, iar dl *V. Maxian* a devenit membru al Comitetului COOMET.

La propunerea PTB, Germania, dl. *H. Apel* a fost numit raportor pentru domeniul metrologie generală, metrologie legală și servicii de etalonare.

Au fost prezentate rapoartele asupra activităților desfășurate în cadrul domeniilor profesionale, de către raportorii domeniilor:

- masă, forță, presiune
- electricitate
- lungime și unghi
- timp și frecvență
- radiații ionizante
- fotometrie și radiometrie
- materiale de referință
- termometrie și calorimetrie
- chimie fizică

La propunerea raportorilor, au fost introduse 7 noi teme și au fost eliminate 18 teme (la care organizațiile membre nu au arătat interes, respectiv nu au participat).

Reprezentanții altor organizații internaționale și regionale au prezentat scurte intervenții, în care au fost ridicate probleme de interes deosebit pentru stadiul actual al metrologiei pe plan european și mondial.

Dl *B. Athané*, directorul BIML, a trecut în revistă activitatea OIML în ultimul an, subliniind progresele înregistrate în aplicarea sistemului de certificate OIML.

Dl *V. Kose* a prezentat noile orientări ale EUROMET, colaborarea cu alte organizații regionale similare și rezultatele unor proiecte finalizate.

Dl *W. Schulz* a descris pe scurt unele activități ale WELMEC, în deosebi în direcția armonizării legislațiilor metrologice și aplicării directivelor Uniunii Europene în domeniul metrologiei, precum și a recunoașterii reciproce a aprobărilor de model.

A fost prezentat apoi un material difuzat în urma ședinței directorilor institutelor naționale de metrologie, convocată de BIPM în februarie 1997. Se propune încheierea unor acorduri între fiecare institut național de etaloane și BIPM, prin care să fie stabilite modalitățile de asigurare a trasabilității etaloanelor naționale. Comitetele Consultative ale Convenției Metrului vor evalua sistemele naționale de etaloane și de asigurare a trasabilității ale fiecărei țări. În același context, se prevede creșterea rolului organizațiilor regionale de metrologie, care trebuie să contribuie eficient la continuitatea lanțurilor de trasabilitate, în beneficiul fiecărei țări membre, inclusiv a celor care nu fac parte din Convenția Metrului.

Au fost prezentate de asemenea rapoarte asupra relațiilor dintre COOMET și alte organizații internaționale și regionale de metrologie:

- raport general, prezentat de dl *R. Spurny*, președintele COOMET;

• rapoarte asupra participării unor organizații membre COOMET la proiecte din cadrul EUROMET, prezentate de raportori;

• informări asupra participării membrilor COOMET la ședințe ale EUROMET, WELMEC, EAL.

În final, a fost acceptată propunerea delegației Belarus de a găzdui a 8-a reuniune a Comitetului COOMET la Minsk, între 14-17 aprilie 1998.

În programul reuniunii a fost inclus un seminar oferit de PTB, la care au fost prezentate următoarele expuneri:

• *M. Wöger:* Ghiduri internaționale pentru exprimarea incertitudinii în măsurări

• *M. Kochsiek:* Globalizarea și metrologia

• *W. Schulz:* Armonizarea europeană în metrologia legală

• *K. Brinkmann, E. Fay:* Armonizarea europeană în acreditare

În ultima zi a reuniunii, delegații prezenți s-au deplasat la uzinele Volkswagen din localitatea Wolfsburg, unde au fost vizitate laboratoarele de etalonare (acreditate de DKD).

A. M.

# Al 14-lea Congres Mondial IMEKO

Incontestabil cea mai importantă manifestare științifică internațională cu caracter periodic în domeniul teoriei și tehnicii măsurărilor, Congresul Mondial IMEKO atrage un număr mare de participanți și de lucrări prezentate, care oferă de fiecare dată o imagine la zi a stadiului în acest domeniu și a tendințelor sale dominante.

Cel de al 14-lea Congres Mondial IMEKO (Confederația Internațională de Măsurări) a avut loc la Tampere, Finlanda, între 1-6 iunie 1997. La congres au fost prezenți peste 600 de participanți din toate continentele, au fost prezentate 400 comunicări și 180 postere, s-au ținut mese rotunde și ședințe ale comitetelor tehnice IMEKO, s-au organizat vizite tehnice și alte activități.

Cei mai mulți participanți la congres au provenit din Europa (în special Italia, Polonia, Germania) și din Asia. A surprins numărul mic de participanți din America.

Orașul Tampere, cu cei 180 000 locuitori ai săi, este cel mai mare oraș continental al Scandinaviei. Important centru științific, industrial și cultural, precum și sediu a două universități renumite, are o foarte frumoasă și bine dotată clădire cu săli de conferințe (sala principală are 2500 locuri), care a găzduit actualul Congres IMEKO.

Organizatorii au reușit probabil cea mai bună performanță în istoria acestor congrese, prin precizia, fluența și perfecta informare asupra tuturor momentelor unui eveniment atât de complex. Meritul principal este fără îndoială al SAS (Societatea Finlandeză pentru Automatizare), organizație membră a IMEKO, dar și al unor colaboratori dintre care cel mai important a fost Universitatea Tehnică din localitate.

Congresul a început cu o sesiune plenară, la care au fost prezentate următoarele referate:

*R. Isermann:* Metode de supraveghere, detectare și diagnoză a defectelor: metode avansate și aplicații

*J. Kuusi:* Galopul tehnologiei – o provocare crescândă pentru măsurări

*Chr. Rohrbach:* Omul ca un sensor extrem de sensibil pentru aproape toate tipurile de radiații

*B. Athané:* Tendințe prezente și viitoare ale cooperării internaționale în metrologie

În continuare, lucrările s-au desfășurat în următoarele secțiuni:

- Învățământ și pregătire profesională în măsurări și în instrumentație
- Măsurări fotonice
- Măsurarea forței și masei
- Măsurări electrice
- Măsurarea durității
- Știința măsurărilor
- Trasabilitatea în metrologie
- Măsurarea debitului
- Diagnoza tehnică
- Infrastructuri metrologice
- Măsurări de temperatură și termice
- Măsurări în biologie și în medicină
- Măsurarea mărimilor geometrice
- Mecanică experimentală

- Măsurarea presiunii şi a vacuumului
- Măsurări în robotică
- Măsurări pentru industria pastei şi a hârtiei
- Măsurări în telecomunicaţii
- Măsurări în domeniul mediului
- Alte aplicaţii ale ştiinţei şi tehnicii măsurării

Concomitent cu congresul, s-au mai desfăşurat două ateliere ("workshop") şi un simpozion, cu următoarele tematici:

- Modelarea şi testarea convertoarelor analog-digitale
- Realitate virtuală şi interfeţe om-maşină avansate
- Automatizări CD ("Cross Directional Control")

Lucrările congresului (inclusiv ale atelierelor şi simpozionului) au fost publicate în 14 volume. Pentru prima dată în istoria congreselor IMEKO, textul integral al lucrărilor a fost editat şi sub formă de CD-ROM (editorul discului afirmă că valoarea acestui CD-ROM istoric va fi şi mai mult apreciată de cititori atunci când vor afla că el a fost elaborat de un grup de studenţi de la Universitatea Tehnică din Tampere).

În timpul congresului s-a ţinut şi şedinţa Consiliului General al IMEKO. Conform tradiţiei, preşedinţia IMEKO, care a fost deţinută timp de trei ani de *O. Aumala* (Finlanda), a fost predată noului preşedinte pentru următoarea perioadă de trei ani, în persoana lui *K. Iizuka* (Japonia). Printre subiectele discutate cu acest prilej, figurează şi propunerea de înfiinţare a două noi comitete tehnice: **Măsurarea funcţiilor umane** şi **Compatibilitatea electromagnetică**.

Pentru viitoarele congrese mondiale IMEKO, au fost stabilite următoarele oraşe-gazdă: Osaka, Japonia pentru Congresul al 15-lea, în 1999 (în mod excepţional, acest congres este intercalat între ediţiile trienale obişnuite); Viena, Austria, pentru Congresul al 16-lea, în 2000; Dubrovnik, Croaţia, pentru Congresul al 17-lea, în 2003.

[**Notă:** redacţia se află în posesia discului CD-ROM cu lucrările Congresului Mondial IMEKO; cei interesaţi pot obţine informaţii la telefon 634 40 30 sau 634 20 60 int. 127]

A. M.

# Proiect de acord asupra "echivalenţei internaţionale" a etaloanelor

În zilele de 17 şi 18 februarie 1997 a avut loc, la Sèvres, Franţa, o reuniune convocată de directorul Biroului Internaţional de Măsuri şi Greutăţi (BIPM), la care au fost invitaţi directorii institutelor naţionale de metrologie sau reprezentanţii oficiali ai acestora. Au participat 51 persoane reprezentând 37 institute naţionale de metrologie, împreună cu observatori de la OIML şi ILAC. Pe ordinea de zi au figurat două puncte importante: prezentarea unui *raport asupra cerinţelor viitoare ale metrologiei* (solicitat de a 20-a Conferinţă Generală de Măsuri şi Greutăţi din octombrie 1995) şi adoptarea unui cadru în care să fie stabilită *echivalenţa etaloanelor naţionale*.

Profesorul *J. Kovalevski*, preşedintele CIPM, a subliniat că activităţile din cadrul Convenţiei Metrului trebuie să se adapteze noii situaţii politice şi economice care rezultă din globalizarea comerţului şi industriei şi din interdependenţa crescândă a economiilor naţionale. În prezent, institutele naţionale de metrologie trebuie să poată demonstra trasabilitatea măsurărilor care se execută oriunde în lume. Este necesară, în acest context, strângerea legăturilor dintre BIPM şi institutele naţionale de metrologie, precum şi creşterea responsabilităţilor Comitetelor Consultative ale Convenţiei Metrului.

Profesorul *D. Kind*, fost preşedinte al CIPM, a relevat importanţa metrologiei pentru economiile naţionale şi pentru ştiinţă în general. Descriind rolul organismelor internaţionale în domeniul metrologiei, a accentuat necesitatea unei colaborări strânse între CIPM şi BIPM pe de o parte, şi organizaţii ca OIML, ILAC, CEI şi ISO pe de altă parte, fiecare din acestea fiind concentrate asupra unor anumite aspecte ale metrologiei.

Dr. *W. R. Blevin*, secretarul CIPM, a prezentat apoi proiectul raportului asupra cerinţelor viitoare ale metrologiei. La început, a evidenţiat schimbările survenite în metrologie, rezultând din creşterea importanţei măsurărilor trasabile în domenii ca tranzacţiile comerciale, sănătatea şi protecţia mediului, asamblarea produselor din componente fabricate pe tot întinsul globului, rolul crescând al acreditării şi numărul tot mai mare al acordurilor de recunoaştere reciprocă a rezultatelor măsurărilor. Astăzi există un număr cu mult mai mare de institute naţionale de metrologie decât în trecut, simţindu-se nevoia formării unor grupări regionale pentru a promova colaborarea dintre ele. În vederea stabilirii unei trasabilităţi la SI pe scară mondială a tuturor măsurărilor, BIPM şi Comitetele Consultative trebuie să lucreze împreună cu organizaţiile regionale de metrologie, pentru a evalua şi a îmbunătăţi echivalenţa etaloanelor naţionale, ţinând seama de incertitudinile fiecăruia din aceste etaloane.

În raport se arată necesitatea lărgirii ariei Comitetelor Consultative, astfel încât ea să acopere toate mărimile fizice şi chimice pe care institutele naţionale le consideră importante.

O a doua parte a raportului, care va fi întocmită în vara anului 1997 şi înaintată CIPM în septembrie 1997, va fi consacrată estimării efortului financiar şi de altă natură care va fi solicitat statelor membre.

Partea finală a reuniunii a fost consacrată prezentării de către dr. *T. J. Quinn*, directorul BIPM, a unei propuneri privind acordul asupra echivalenţei internaţionale a etaloanelor naţionale. Acest acord se impune din cel puţin două motive: în primul rând, cerinţele organismelor naţionale şi internaţionale de acreditare în domeniul etalonării şi încercării; în al doilea rând, accentul crescând care se pune actualmente în acordurile comerciale asupra îndepărtării barierelor tehnice din calea comerţului. În acest sens, neacceptarea rezultatelor unor măsurări şi încercări făcute într-o altă ţară este considerată ca una din aceste bariere.

Comitetele Consultative au fost rugate să definească un număr de aşa-numite "comparaţii-cheie", pe ale căror rezultate se poate baza echivalenţa internaţională, comparaţiile fiind astfel alese încât să acopere principalele tehnici în fiecare domeniu. Această abordare reprezintă un compromis între compararea tuturor tipurilor de măsurări – ceea ce ar fi imposibil – şi comparaţiile cu mult mai limitate care sunt realizate în prezent de BIPM şi de Comitetele Consultative. Prin asocierea comparaţiilor-cheie efectuate de BIPM şi de Comitetele Consultative cu cele efectuate în cadrul organizaţiilor regionale de metrologie, este posibil să se construiască o amplă reţea mondială de echivalenţă, la un cost rezonabil pentru fiecare laborator naţional. Este important ca această reţea să fie robustă, prin prevederea unui anumit nivel de redundanţă în schema generală a comparaţiilor. La sfârşitul expunerii, dl. *Quinn* a prezentat în detaliu acordul internaţional propus.

Discuţiile au fost purtate mai ales în legătură cu noul concept de echivalenţă internaţională a etaloanelor. În general, participanţii au fost de acord că schema comparaţiilor-cheie, dintre care au fost deja identificate 50 de comparaţii de către Comitetele Consultative, reprezintă calea cea mai bună pentru a furniza datele necesare ca bază a stabilirii echivalenţei. Pe de altă parte, conceptul propriu-zis de echivalenţă mai necesită unele clarificări, deşi sensul general al termenului este bine înţeles. Din discuţii a reieşit că aspectele tehnice ale echivalenţei trebuie rezolvate de către BIPM şi Comitetele Consultative, în timp ce declaraţiile formale de echivalenţă constituie prerogative ale guvernelor fiecărui stat.

S-a convenit ca un nou termen, "echivalenţa metrologică", să fie introdus şi definit cu grijă, iar textul proiectului de acord să fie revizuit ţinând seama de discuţiile care au avut loc. Participanţii s-au pronunţat în unanimitate pentru continuarea demersurilor în vederea încheierii în viitor a unui asemenea acord.

# O reglementare metrologică a etilometrelor

Etilometrele (aparate portabile pentru măsurarea conținutului de alcool în aerul expirat) sunt tot mai mult folosite pentru controlul stării de ebrietate a conducătorilor auto, dar și a altor persoane (de exemplu, anumite categorii de muncitori a căror activitate reclamă o atenție deosebită). În cele mai multe țări, prevederile legale privitoare la stabilirea stării de ebrietate sunt bazate pe conținutul de alcool în sânge (care poate fi determinat prin analiza sanguină), de aceea este foarte important de cunoscut raportul dintre cele două concentrații de alcool, în aerul expirat și respectiv în sânge. Din păcate, acest raport variază în funcție de numeroși factori; sunt în curs studii pentru elucidarea acestei probleme și găsirea celui mai bun compromis pentru obiectivizarea determinărilor efectuate cu ajutorul etilometrului.

Până la rezolvarea definitivă a problemei, un grup de lucru al OIML s-a reunit în februarie 1997 pentru a trage ultimele concluzii cu privire la lucrările întreprinse pînă acum în legătură cu reglementarea metrologică a etilometrelor. Proiectul de Recomandare OIML elaborat cu câțiva ani în urmă fusese refuzat cu prilejul anchetei internaționale din 1996, în principal din cauza divergențelor adânci dintre cele mai multe legislații naționale în acest domeniu. Dificultățile cele mai mari sunt datorite în special unor aspecte nemetrologice, ca de exemplu:

- cum să fie crescută fiabilitatea instrumentelor, pentru a se evita concluziile false asupra stării persoanei examinate;
- cum să se țină seama de faptul că există numeroase substanțe care interferă cu măsurarea etanolului;
- care poate fi influența temperaturii interne a celui examinat;
- cum să fie deosebite situațiile în care subiectul a băut prea mult, sau a băut o cantitate mică imediat înainte de examinare și are încă urme de alcool în gură.

Grupul de experți a analizat toate aspectele ridicate de părțile anchetate și a ajuns la soluții acceptabile în ce privește cele mai importante puncte. Acolo unde nu s-a putut întruni consensul, decizia a fost lăsată autorităților naționale competente.

Secretariatul comitetului tehnic TC 17/SC 7 (Franța), care se ocupă de subiect, are acum toate elementele pentru a pregăti un proiect de Recomandare, prevăzut să fie aprobat la ședința CIML din octombrie 1998. Chiar dacă Recomandarea nu reușește să rezolve toate contradicțiile existente, ea va avea totuși meritul de a înlătura cele mai însemnate divergențe ale reglementărilor naționale prezente.

Este de remarcat interesul deosebit pe care îl manifestă diverse organisme față de aceste lucrări, pe lângă serviciile naționale de metrologie: poliția, laboratoarele de medicină legală, societățile de transport, laboratoarele de încercări și constructorii de aparate de măsurat.

[Informațiile provin din "Buletinul OIML" nr.2, aprilie 1997.]

# APARIȚII RECENTE LA EDITURA TEHNICĂ

C. SÂMBOTIN
**Sisteme expert cu PROLOG** Lei 9000

CENTRUL ONU PENTRU PROMOVAREA ÎNTREPRINDERILOR MICI ȘI MIJLOCII
**Ghidul întreprinzătorului particular** Lei 15000

CENTRUL ONU PENTRU PROMOVAREA ÎNTREPRINDERILOR MICI ȘI MIJLOCII
**Ghidul financiar al întreprinzătorului** Lei 10000

M. HAMMER, J. CHAMPY
**Reengineering-ul întreprinderii** Lei 18000

UNCTAD/ISO
**Manualul sistemului calității. Ghid pentru implementerea standardelor internaționale ISO 9000** Lei 15000

A. LECA
**Principii de management energetic** Lei 28000

A. DUMITRIU
**Istoria logicii** vol. III Lei 35000

V. PAPANEK
**Design pentru lumea reală** Lei 25000

I. ALEXIU
**Germana pentru ingineri** Lei 25000

GH. CONSTANTIN, M. ȘTEFĂNESCU
**Îndreptar de metale** Lei 7500

*NOU!*

# MM

# MAŞINI ŞI MANAGEMENT

Revista **MM** - este o nouă publicaţie periodică (6 numere pe an) a Editurii Tehnice realizată în colaborare cu trustul editorial Vogel Verlag und Druck GmbH & Co KC din Wrzburg - Germania. Ea reprezintă o versiune selectivă şi adaptată în limba română a prestigioasei reviste germane MaschinenMarkt.

În revistă sunt abordate subiecte dintr-o gamă variată de domenii ale economiei şi industriei: materiale, tehnologie, utilaje, instalaţii, electrotehnică, automatizări, management, marketing, calitate, mediu înconjură tor ş.a.

Ediţia în limba română este intitulată Maşini şi Management, păstrând în felul acesta simbolul MM al revistei germane, devenit foarte cunoscut pe plan internaţional.

În dorinţa de a satisface cât mai multe cerinţe se vor selecta materiale şi din alte reviste tehnice germane editate de Vogel Verlag. De asemenea versiunea română conţine şi articole elaborate de specialişti români, încercând în acest fel să facă cunoscute realizările valoroase autohtone.

Pentru a vă asigura procurarea acestei reviste vă recomandăm să faceţi abonamente pe adresa Editurii Tehnice, Piaţa Presei Libere nr. 1, R-71341, Bucureşti 33, tel. 01/222.33.21, 222.66.30, fax 01/222.37.76

# CENTRUL INTERNAȚIONAL DE PROMOVARE
# SALA PALATULUI

organizează, în colaborare cu Biroul Român de Metrologie Legală,
cea de a II-a ediție a expoziției internaționale specializate

# AMCOR ' 97

**Bucureşti, Sala Palatului**
**16 – 19 septembrie**

Firmele participante la această expoziție produc sau comercializează aparate de măsură şi control cu aplicabilitate în toate domeniile de activitate.

**Şi Dvs. puteți deveni expozant,** dacă doriți ca cei aproximativ 2000 de specialişti vizitatori să devină clienții firmei Dvs., în numai 4 zile !

**Înscrierile se fac până la data de 2 septembrie,**
la telefon 311.11.99 - număr direct, 615.97.10/533 sau fax 311.11.49.

**C.I.P. vă aşteaptă cu o ofertă atractivă !**

E8225 FF
8 000000 490766
RP

INM Nr 3/1997

# metrologie

## SIMPOZION al NAŢIONAL 6-lea DE METROLOGIE

Bucureşti, 17-18 septembrie 1997

## SUMMARY


**EDITORIAL, * * * The 6th National Symposium of Metrology** ..... 66

***GEORG GUTT, BERTHOLD HADER, SON*** **Microhardness devices** .....

***GEORG GUTT, SONIA GUTT, BERTHOLI*** **Portable electronic hardness tester bas tested material reaction force measurement**

***MIRCEA CIOBANU*: On the measuremen characteristics of the surface layer of materia using cutting tools** .....

***ROMEO P. GLOVNEA, GABI*** **measuring method for the gear-tooth systems** .....

***MONICA ION, ION ASAVINEI*** **calibrator used in thermal e**


## SOMMAIRE


**ÉDITORIAL, * * * Le 6-ieme Symposium National de** ..... 66

**BERTHOLD HADER, SONIA GUTT: ur les microduretés** ..... 67

***SONIA GUTT, BERTHOLD HADER*: ssai électronique portable pur la dureté basé e réaction du matériau testé** ..... 76

***ANU*: Sur le mesurage de quelques ca- de la surface des matériau usinés avec découper** ..... 85

***A GLOVNEA*: Une métode épaisseur du EHD couche élopante** ..... 89

**librateur pour les thermo- s les compteurs d'énergie** ..... 93



OMK

R08038



REDACȚIA

INSTITUTUL NAȚIONAL DE METROLOGIE

Şos. Vitan-Bârzeşti nr. 11, sector 4, tel. 6342060
şi 6344030/191; Bucureşti; 75669

ISSN 1200-546 X

EDIȚIE REALIZATĂ SUB ÎNGRIJIREA

**Editurii Tehnice**

Piața Presei Libere 1, sector 1, Bucureşti, cod poştal 71341,
tel. 222.66.30, fax 222.37.76

Cererile pentru abonamente vor fi adresate Editurii Tehnice, Biroul de comenzi şi desfacere,
Bucureşti, str. Oteteleşeanu nr. 1, sector 1, cod poştal 70702, tel. 615.88.66
cont virament 50.03.419.2553, Trezoreria sector 1.
Costul unui abonament anual este 22000 lei.

272379

# METROLOGIE

Publicaţie tehnico-ştiinţifică

editată de

INSTITUTUL NAŢIONAL DE METROLOGIE

## SUMAR

EDITORIAL , * * * Al 6-lea Simpozion Naţional de Metrologie ..... 66

*GEORG GUTT, BERTHOLD HADER, SONIA GUTT*: Dispozitive microdurimetrice ..... 67

*GEORG GUTT, SONIA GUTT, BERTHOLD HADER*: Durimetre electronice portabile bazate pe măsurarea forţei de reacţie a materialului încercat ..... 76

*MIRCEA CIOBANU*: Măsurarea unor caracteristici ale stratului superficial de piese prelucrate prin aşchiere ..... 85

*ROMEO P. GLOVNEA, GABRIELA GLOVNEA*: O nouă metodă de măsurare a grosimii filmului EHD prin angrenaje evolventice ..... 89

*MONICA ION, ION ASAVINEI*: Calibrator pentru termorezistenţe din platină folosite în contoarele de energie termică ..... 93

*

* *

**Colectivul de redacţie**: fiz. Dragoş Boiciuc, Viorica Burciu (*secretar de redacţie*), ing. chim. Mirela Buzoianu, ing. Gabriel Iordăchescu, fiz. Gheorghe Ispăşoiu, dr. ing. Aurel Millea (*redactor responsabil*), ing. Ionel Urdea.

METROLOGIE, vol. XLIV (Serie nouă) nr. 3/1997 pag. 65 - 96

# AL 6-LEA SIMPOZION NAȚIONAL DE METROLOGIE

Simpozionul Național de Metrologie, inițiat în 1981 ca un ciclu trienal de întâlniri ale specialiștilor din diferite domenii de activitate, interesați în progresul teoriei și tehnicii măsurărilor, a ajuns la cea de a 6-a ediție.

SNM-6 își propune un subiect special pentru dezbatere: *"Infrastructura metrologică rolul său în dezvoltarea economică și socială a țării"*. Evoluția actuală a infrastructurii metrologice în statele cu economie dezvoltată incluzând cele trei componente de bază ale sale - metrologia științifică, metrologia industrială și metrologia legală - justifică focalizarea simpozionului asupra analizării stadiului în care se află această problematică în România și a tendințelor previzibile pentru viitor. Conceptul de infrastructură metrologică este tot mai frecvent citat în literatura de specialitate, este utilizat în documente naționale și internaționale și a devenit chiar obiectul de activitate al unui comitet tehnic (TC 11) al Confederației Internaționale de Măsurări (IMEKO).

Simpozionul va căuta să discute subiectul pe un plan mai larg, în asocierea *Metrologie-Standarde-Testare-Calitate* (MSTC), recunoscută ca un factor esențial al dezvoltării economice și sociale europene și mondiale.

*Metrologia* constituie punctul de plecare pentru toate etapele următoare ale sistemului MTSC. Pentru ca măsurările să fie eficiente, ele trebuie să fie în același timp *uniforme* și *corecte*, condiții a căror îndeplinire poate fi asigurată numai prin menținerea și dezvoltarea unui *sistem național de etaloane*, trasabil la etaloanele internaționale, și a unui sistem organizat de *metrologie științifică, industrială și legală.*

*Standardele* formează un sistem amplu și corelat de prescripții tehnice, care permite armonizarea cerințelor utilizatorilor și a ofertelor producătorilor, într-un mod consistent, practic și transparent. Standardele furnizează o *referință* larg acceptată internațional, fără de care cooperarea și comerțul mondial ar fi de neimaginat.

*Testarea* are ca scop determinarea principalelor caracteristici ale unui produs, proces sau serviciu. Ea trebuie executată conform unor *metode/proceduri* prevăzute în acest scop, folosind mijloace de măsurare asigurate metrologic, a căror trasabilitate este dovedită.

*Calitatea* reflectă gradul în care un produs sau un serviciu satisface anumite cerințe prestabilite, corespunzător destinației sale. În economia actuală joacă un rol tot mai important *certificarea* calității, ca o evaluare imparțială a conformității cu un standard (sau alt act normativ) și *acreditarea*, ca o recunoaștere formală a competenței unui laborator de a executa etalonări sau testări anumite.

Participanții la simpozion vor putea urmări, sperăm cu mult interes, și intervenții ale unor experți străini la acest subiect, a căror experiență va fi cu siguranță o sursă bogată de informații pentru auditori. Printre invitații simpozionului se numără dl *K. Odin* de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Germania, care va prezenta două comunicări referitoare la metrologia industrială în Germania, sistemul de asigurare a calității în PTB și sistemul german de acreditare a laboratoarelor de etalonare. Sunt anunțate de asemenea mai multe comunicări, legate de această problematică, ale unor autori de la întreprinderi din țară sau reprezentând instituții implicate în domeniu.

Actuala ediție a simpozionului se bucură și de o împrejurare care o face mai atractivă, și anume desfășurarea sa în paralel cu expoziția de aparatură de măsurare AMCOR'97, un foarte bun prilej pentru contacte directe între specialiști din cercetare, învățământ, industrie și comerț.

**Dorim bun venit participanților la al 6-lea Simpozion Național de Metrologie !**

# Dispozitive microdurimetrice

*Georg GUTT*[*]
*Berthold HADER*[**]
*Sonia GUTT*[*]

**Abstract.** *The paper presents a series of hardness testing devices using microforces, in order to extend the applicability of regular metallographic microscopes and to lower the costs of the test. The research covered both the domain of static loads tests with the measurement of plastic and elastoplastic strain and the domain of dynamic loads. The main interest was to find solutions that would yield an electric output for the measured quantities so that the information may be transferred via an interface to be further processed by a PC. Most of these devices have already been built as prototypes and tested.*

**Résumé.** *L'ouvrage présente une série des dispositifs pour l'essai de la durité avec microforces, pour étendre le domaine de l'utilisation des microscopes métallogra-phiques normales, et de diminuer le prix de cette essai. La recherche et le développement couvrent le domaine des essais avec de charges statiques et la mesurage de la déformation plastique et élastoplastique et aussi le domaine des charges dynamiques. L'idée principale a été de trouver des solutions qui permettent d'obtenir des mesures de sortie éléctriques pour les valeurs mesurées, et de les transmettre par les interfaces et de les computer par PC. La majorité de ces dispositifs ont été construits sous la forme de prototypes et ont été verifiés*

## 1 Problematica microdurității

Denumirea de microduritate, utilizată la scară largă, este de fapt incorectă, termenul micro referindu-se de fapt la valorile sarcinilor de încărcare, care pot atinge max. 2N, și nicidecum la duritate. Cea din urmă este principal un număr care nu trebuie să depindă de sarcină, deci nu poate fi nici micro și nici macro.

În special în cercetare dar și industrial, cu precădere la investigarea stratului superficial sau a straturilor subțiri de metale depuse galvanic sau prin alte tehnologii, este folosită încercarea de duritate cu microsarcini. În acest domeniu s-a impus în primul rând încercarea de duritate Vickers (HV) și mai restrâns încercarea de duritate Knoop (HK). Problematica încercării de duritate Vickers cu microsarcini este mult mai complexă decât a încercării cu sarcini mari, deoarece se constată la prima o influențare destul de pregnantă a valorii durității de către valoarea sarcinii aplicate. De regulă (HV) scade cu creșterea valorii sarcinii aplicate, respectiv cu creșterea valorii diagonalei urmei (figura 1).

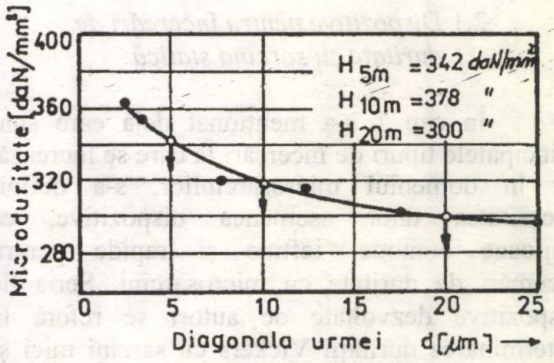



Fig. 1 Dependența microdurității Vickers (Hvm) de valoarea sarcinii aplicate penetratorului. (Oțel Fe-Si)

Din acest motiv valorile microdurității sunt date pentru diagonale standard de: 5, 10 și 20 μm și poartă notațiile: H5m, H10m, H20m. În mod practic se procedează la trasarea unei curbe de tipul celei din figura 1, folosindu-se un număr cât mai mare de sarcini. Valorile standard enumerate mai sus se determină prin interpolare, prin prezentarea unei funcții hiperbolice de tipul celei din figura 1.

În coordonate dublu logaritmice se obține o funcție liniară (figura 2).

[*] Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava
[**] Fachhochschule Aalen - Germania

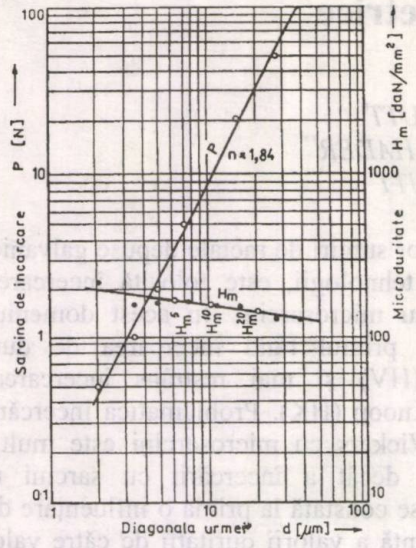



Fig. 2 Reprezentarea în coordonate dublu - logaritmice a funcției F-d.

## 2 Dispozitive microdurimetrice pentru microscoape metalografice

### 2.1 *Dispozitive pentru încercări de duritate cu sarcina statică*

În cap 1 s-a menționat deja care sunt principalele tipuri de încercări la care se lucrează, iar în domeniul microsarcinilor, s-a definit necesitatea unor asemenea dispozitive, ca mijloace comode, ieftine și rapide pentru încercări de duritate cu microsarcini. Seria de dispozitive dezvoltate de autori se referă la determinarea durității Vickers cu sarcini mici și Knoop. S-a urmărit ca precizia și reproductibilitatea să fie cât mai ridicate, iar design-ul și maniabilitatea să corespundă astfel încât folosirea acestora să indice o situație de normalitate pe microscop iar montarea și demontarea lor să se facă într-un timp minim și cu manevre extrem de ușoare. Prin folosirea unor senzori de dimensiuni mici a fost posibilă dezvoltarea și proiectarea de dispozitive pentru încercare cu sarcini statice și cu sarcini dinamice, oferind pentru prima dată industriei într-o concepție unitară o paletă largă de mijloace performante pentru încercarea durității cu microsarcini.

#### 2.1.1 Dispozitive bazate pe sarcini incrementale

Situația clasică de încărcare a penetratorului în domeniul sarcinilor statice este cea cu sarcini incrementale (greutăți) ce acționează asupra penetratorului fie printr-un sistem de pârghii multiplicatoare, fie prin aplicarea directă a sarcinii pe tija portpenetrator.

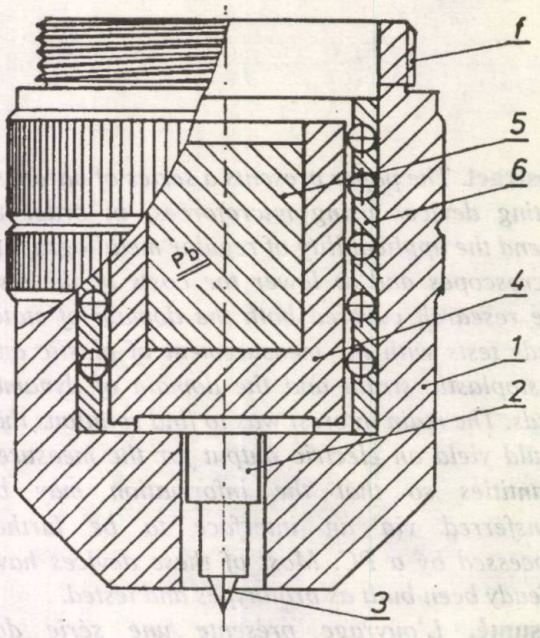



Fig. 3 Dispozitiv cu microsarcini realizat cu greutăți

Dintre cele două soluții, ultima se poate aplica cel mai bine la un dispozitiv miniatural pentru a fi folosit la microscoape metalografice clasice. Problemele ce apar sunt cele legate de precizia măsurării, de rezoluția de citire precum și de reproductibilitatea datelor, în condițiile folosirii unei game cât mai largi de sarcini incrementale. În figura 3 este redat un asemenea dispozitiv. Corpul (1) prevăzut cu filet pentru aprindere de capul revolver al microscopului adăpostește echipajul mobil format din portpenetrator (2), penetratorul (3) și o greutate de încărcare (4) ce are un locaș cilindric pentru plumb (5) în vederea realizării etalonării metrologice a masei precum și pentru asigurarea unui volum cât mai mic pentru echipajul mobil. Pentru ghidarea echipajului mobil cu frecare cât mai mică este folosită o bucșă cu bile (6).

Modul operator este următorul: după introducerea greutății dorite în corpul dispozitivului, acesta se infiltrează în capul revolver în locul unui obiectiv optic și se aduce în poziție verticală față de piesa supusă încercării de duritate;.se deplasează lent masa microscopului în sus până când piesa de încercat atinge partea inferioară a corpului (1), aceasta constituind garanția faptului că penetratorul apasă pe piesă cu întreaga sarcină. După scurgerea timpului de încărcare prescris, se coboară masa și se rotește capul revolver astfel încât obiectivul să permită măsurarea diagonalelor urmei lăsate de penetrator pe materialul încercat. Prin execuția descrisă se

pot realiza încercări în domeniul (0,1...2) N. Asigurarea incrementului de greutate se poate realiza în game variate prin folosirea unor truse de greutăți etalonate. Folosirea greutăților cu plumb, pe lângă tararea corectă a acestora, permite și realizarea unei valori mici a raportului volum/masă, condiție necesară pentru miniaturizarea întregului ansamblu. Aceste greutăți trebuie să fie foarte strâns tolerate, în sensul asigurării unor jocuri constante între peretele lor exterior și bilele bucșei. Trebuie acționat și pentru asigurarea unei rugozități deosebit de mici a acestei suprafețe.

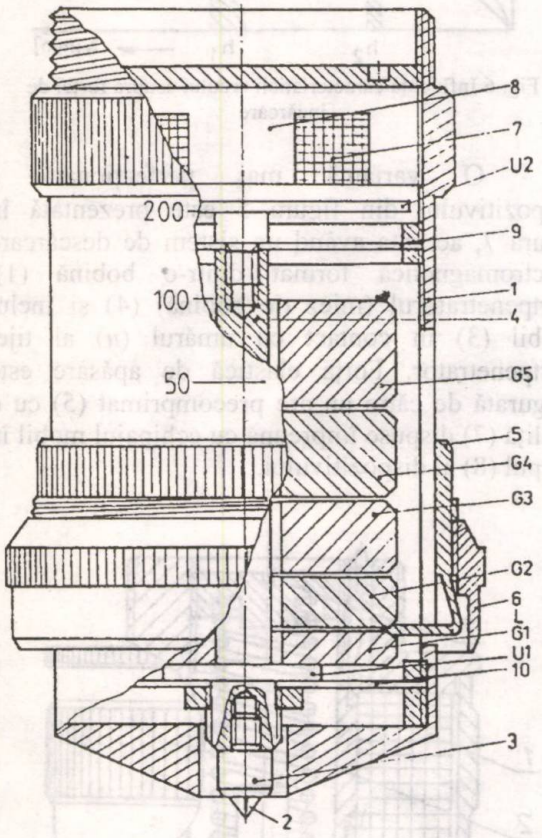



Fig. 4 Dispozitiv cu sarcini multiple echipat cu sistem de descărcare automat

În figura 4 este reprezentat un alt dispozitiv cu sarcini incrementale, ce permite aplicarea de diverse sarcini fără a fi necesară detașarea de pe capul revolver la schimbarea sarcinii. În plus, este dotat cu un sistem electromagnetic de descărcare automată legat la un timer. În corpul (1) se găsește echipajul mobil format din penetratorul (2), portpenetratorul (3), tija portpenetrator (4) prevăzută cu un număr (U1) pentru sprijinul greutăților (sarcinilor) de încărcare (G1...G5). Pentru selectarea sarcinii totale ce urmează a se aplica penetratorul (2) este folosit un sistem elastic de selectare format din cleștele (5) ce prezintă lamele elastice radiale (*L*), ce pot fi precomprimate de o piuliță (6), în așa fel încât să selecteze o parte din greutățile disponibile (sarcina de încărcare dorită) de celelalte greutăți.

În partea superioară dispozitivul are un sistem electromagnetic de descărcare automată format dintr-o bobină (7), un miez de oțel moale (8) și numărul (*U*2) care este înfiletat pe tija portpenetratorului (4). Întregul echipaj mobil este suspendat elastic fără frecare de două arcuri disc speciale (9) și (10), de a căror caracteristică se ține cont la tararea sarcinilor.

După fixarea dispozitivului pe microscopul metalografic modul de operare este următorul: se aduce dispozitivul în poziție verticală, după aceea se selectează grupul de sarcini de încărcare deplasând inelul elastic cu lamele (5) în dreptul sarcinii dorite (sarcinile realizabile se găsesc inscripționate pe partea frontală a corpului (1) și se strânge ușor piulița (6); astfel încât lamelele elastice (*L*) să intre greutăți, despărțind sarcinile utile de sarcinile de rezervă. După aceea se deplasează în sus prin împingere piulița (6), după asigurarea unei separări suficiente se continuă strângerea piuliței (6) ceea ce are ca efect înțepenirea sistemului de separare a sarcinilor pe corpul (1), împiedecând coborârea nedorită a sarcinilor de rezervă. Încărcarea penetratorului se realizează ca și în cazul precedent, de jos în sus, prin deplasarea probei de încercat spre penetrator. La un moment dat deplasarea probei este frânată de partea inferioară a dispozitivului. Din acest moment se pornește timerul, care la scurgerea timpului de încărcare prescris pune bobina (7) sub tensiune și care prin intermediul miezului electromagnetic (8) anclasează umărul (U2), producând astfel descărcarea penetratorului.

### 2.1.2 Dispozitive bazate pe arcuri de încărcare

Din punct de vedere constructiv folosirea încărcării cu arcuri oferă structuri mai compacte decât cea cu sarcini incrementale. Ca dezavantaj trebuie menționată precizia mai scăzută, cauzată atât de liniaritatea imperfectă a caracteristicii arcurilor, cât și datorită faptului că sarcina aplicată nu este perfect constantă, ea depinzând de adâncimea de pătrundere a penetratorului, deci de duritate. Erorile introduse pe această cale sunt în cele mai multe cazuri tolerabile, ceea ce face ca asemenea dispozitive (și chiar și durimetre cu arc) să fie folosite la scară destul de largă. În figura 5 este redat un dispozitiv de încărcare cu

arc spiral format dintr-un corp (1) şi o casetă cu arc (2), (3), ce apasă asupra penetratorului (4) prevăzut în partea inferioară cu penetratorul (5). Încărcarea arcului la sarcina nominală se realizează cu un şurub special (6), iar fixarea casetei (2) în corpul (1) cu un şurub (7). Influenţa negativă cauzată de variaţia sarcinii de încărcare ca urmare a adâncimii de pătrundere diferite a penetratorului poate fi diminuată substanţial prin alegerea corectă a arcului de încărcare.

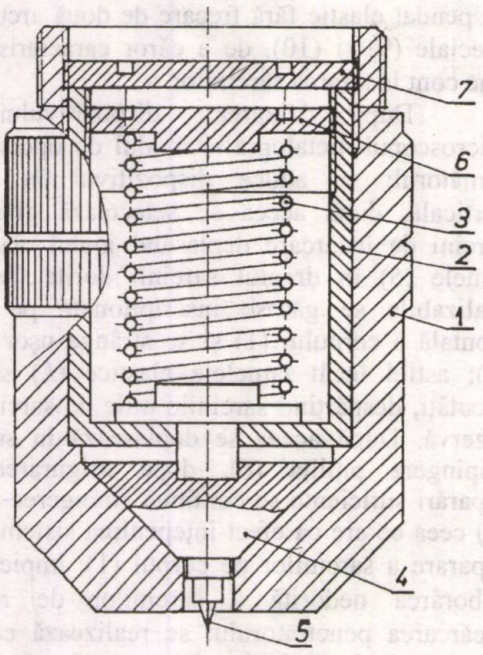



Fig. 5 Dispozitiv cu arc în casetă

Din figura 6 rezultă clar faptul că la o variaţie de forţă de încărcare tolerată $\Delta F_1$ un arc cu caracteristica rigidă poate asigura măsurarea durităţii numai în limitele adâncimii de pătrundere ($h_2$), pe când un arc ($A_1$) cu caracteristica mai lină acoperă o plajă de adâncimi de pătrundere ($h_1$) mult mai mare.

În primul caz depăşirea plajei ($h_2$) duce la erori de măsurare cauzate de sarcina de încărcare inconstantă. Se recomandă ca atare folosirea unor sarcini de încărcare cu caracteristica lină. Un mare avantaj al modului de execuţie (figura 5) îl reprezintă posibilitatea folosirii de casete cu arcuri, fiecare casetă având arcul precomprimat pentru realizarea unei anumite sarcini. Schimbarea sarcinilor de încărcare se face uşor prin deşurubarea şurubului (6) şi înlocuirea casetei cu arc.

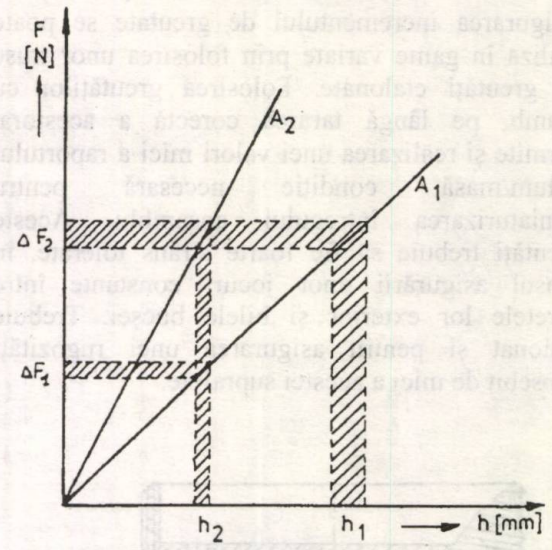



Fig. 6 Influenţa caracteristicii arcului asupra forţei de încărcare

O variantă mai perfecţionată a dispozitivului din figura 5 este prezentată în figura 7, aceasta având un sistem de descărcare electromagnetică format dintr-o bobină (1), portpenetratorul (miez de bobină) (4) şi inelul mobil (3) în contact cu umărul ($u$) al tijei portpenetrator. Forţa elastică de apăsare este asigurată de către un arc precomprimat (5) cu o piuliţă (7) dispuse împreună cu echipajul mobil în corpul (8) al dispozitivului.

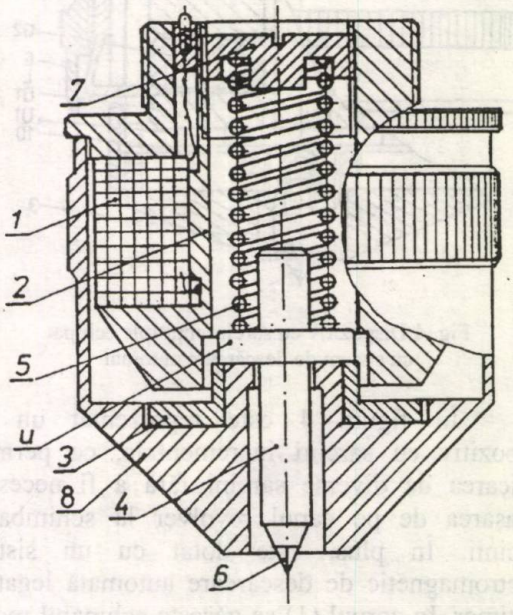



Fig. 7 Dispozitiv cu încărcare cu arc şi descărcare electromagnetică automată

Un asemenea dispozitiv îşi are utilitatea mai ales la determinarea microdurităţii Vickers la materiale metalice cu tendinţă mare de fluaj la care respectarea unor anumiţi timpi prescrişi de menţinere a sarcinii este obligatorie.

Modul operator este următorul: se deplasează piesa cu masa microscopului pe verticală până când atinge partea inferioară a corpului dispozitivului (8). Din acest moment se cuplează automat releul de timp care la epuizarea timpului de menţinere a sarcinii pune bobina (1) sub tensiune, aceasta provocând anclanşarea inelului cu umăr (3) care acţionează asupra tijei portpenetrator (4) provocând ridicarea acesteia.

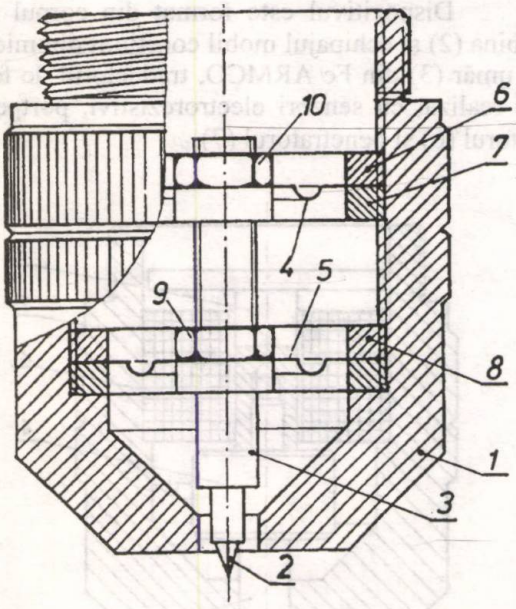



Fig. 8 Dispozitiv de încărcare cu arc acţionat fără frecare

O altă execuţie cu încărcare cu arc este reprezentată în figura 8. Această modalitate constructivă permite realizarea suspendării echipajului mobil fără frecări, cu influenţe benefice asupra preciziei încercării de microduritate.

Dispozitivul este format dintr-un corp (1) şi un echipaj mobil compus la rândul lui din penetratorul (2), tija portpenetrator (3) şi două arcuri disc (4) şi (5) a căror rigidizare se face pe corpul (1) cu piuliţele (6), (7), (8) iar pe tija (3) cu piuliţele (9) şi (10). Din motive de centrare şi de etalonare acest dispozitiv nu poate fi realizat cu casete de arcuri, fiecare realizând o anumită sarcină de încărcare (numai cu o singură sarcină). Prezintă în schimb o precizie superioară din cauza lipsei de frecare a echipajului mobil.

O aplicaţie deosebită a încercării cu arc o constituie dispozitivele microdurimetrice pentru încercarea de duritate sub sarcină, aplicaţie la care se ia în considerare atât componenta de deformare elastică cât şi componenta de deformare plastică. În mod obişnuit se procedează la măsurarea adâncimii de pătrundere sub o sarcină de valoare cunoscută, pentru a se defini în final duritatea universală HU ca fiind raportul între forţă şi adâncimea de pătrundere. Miniaturizarea impusă dispozitivelor de natura celor tratate deja în această lucrare nu permite folosirea în corpul dispozitivului a unui traductor de deplasare. Din acest motiv s-a apelat la soluţia măsurării forţei de reacţie a materialului de încercat, această forţă fiind de fapt o măsură a durităţii materialului, cea din urmă fiind definită ca reprezentând rezistenţa pe care o opune un materiale la acţiunea de pătrundere a unui penetrator mult mai dur ca acesta. În figura 9 este redată o secţiune prin dispozitiv, iar în figura 10 principiul de măsurare cu folosirea unei punţi tensiometrice.

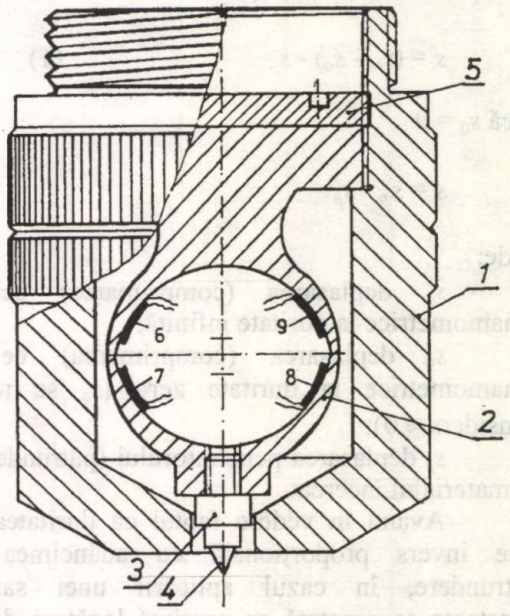



Fig. 9 Dispozitivul microdurimetric bazat pe măsurarea forţei de reacţie

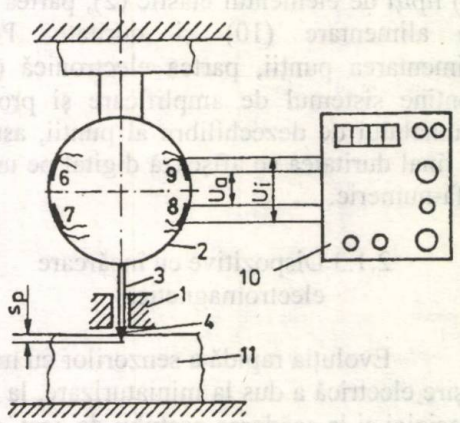



Fig. 10 Principiul dispozitivul bazat pe măsurarea forţei de reacţie

Din punct de vedere constructiv dispozitivul propriu-zis se compune dintr-un corp (1) în care se găseşte un corp elastic (2) de construcţie specială pe a cărui pereţi interiori se găsesc patru senzori electrorezistivi (6), (7), (8), (9) legaţi la o punte Wheatstone (10). Corpul elastic (2) (inel dinamometric) are la partea inferioară fixat corpul portpenetrator (3) împreună cu penetratorul (4), strângerea şi fixarea ansamblului în corpul (1) realizându-se cu piuliţa (5).

Modul operator cu acest dispozitiv este următorul: după fixarea dispozitivului în poziţie verticală pe capul revolver al microscopului metalografic se aşază proba (11) pe masa microscopului şi se deplasează în sus până când se simte o rezistenţă mecanică mărită cauzată de atingerea tălpii ($t$) a corpului (1) de proba (11). În această situaţie celula dinamometrică (2) va fi deformată elastic proporţional cu o deplasare ($s$) corespunzătoare diferenţei dintre:

$$s = (s_\infty - s_0) - s_p \qquad (1)$$

dacă $s_0 = 0$

$$s = s_\infty - s_p$$

unde:

$s_\infty$ deplasarea (comprimarea) celulei dinamometrice la duritate infinită;

$s_0$ deplasarea (comprimarea) celulei dinamometrice la duritate zero ($s_0$ se poate considera $\approx 0$);

$s_p$ deplasarea penetratorului (pătrunderea) în materialul încercat.

Având în vedere faptul că duritatea $H_0$ este invers proporţională cu adâncimea de pătrundere, în cazul aplicării unei sarcini constante se constată cu uşurinţă legătura dintre dezechilibrul tensiunii ($U_e$) a punţii Wheatstone, formată din senzorii electrorezistivi (6), (7), (8) şi (9) lipiţi de elementul elastic (2), partea electrică de alimentare (10) şi duritate. Pe lângă alimentarea punţii, partea electronică (10) mai conţine sistemul de amplificare şi procesare a semnalului de dezechilibru al punţii, astfel încât în final duritatea se afişează digital pe un display alfa-numeric.

### 2.1.3 Dispozitive cu încărcare electromagnetică

Evoluţia rapidă a senzorilor cu mărime de ieşire electrică a dus la miniaturizare, la creşterea preciziei şi la scăderea preţului de cost, ceea ce a condus la ideea construirii unui dispozitiv microdurimetric cu încărcare electromagnetică şi măsurarea continuă a forţei aplicate penetratorului cu o celulă dinamometrică cu sensori electrorezistivi (SER). Avantajele unei asemenea concepţii sunt legate de obţinerea oricărei forţe de încărcare în limitele domeniului de microsarcini. La aceasta se mai adaugă posibilitatea automatizării complete (viteză de încărcare-descărcare, timp de menţinere, posibilitatea de realizare de încercări ciclice etc.) datorită faptului că atât sistemul de aplicare a sarcinii cât şi sensorul de forţă sunt mărimi de intrare, respectiv de ieşire electrică. În figura 11 este reprezentată o secţiune prin dispozitiv, iar în figura 12 schema de principiu a acestuia.

Dispozitivul este format din corpul (1), bobina (2) şi echipajul mobil constituit din miezul cu umăr (3) din Fe ARMCO, traductorul de forţă (4) realizat cu senzori electrorezistivi, portpenetratorul (6) şi penetratorul (7).

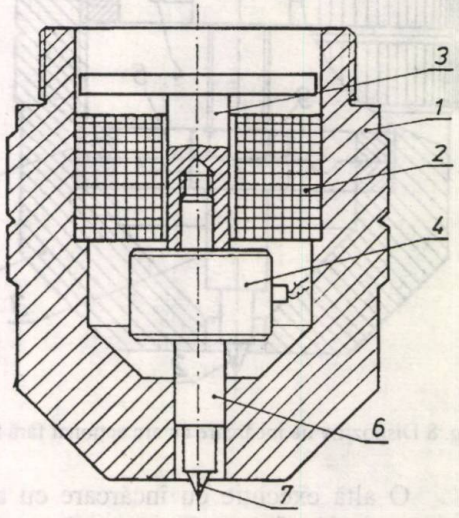



Fig. 11 Dispozitivul cu încărcare electromagnetică şi traductor de forţă

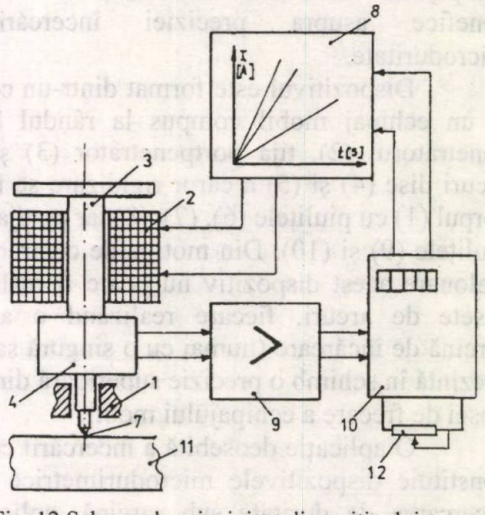



Fig. 12 Schema de principiu a dispozitivului cu încărcare electromagnetică

La acest dispozitiv se aplică următorul mod operator: se apasă piesa (11) (figura 12) supusă încercării spre penetratorul (7) până la atingerea părții frontale a corpului (1) ce cuplează sistemul de încărcare electromagnetică, care prin intermediul elementului de comparație (10) și a circuitului de programare liniară (8) aplică bobinei (2) tensiuni liniar crescătoare după o anumită pantă prestabilită. Efectul este exercitatea asupra miezului (3) iar prin aceasta transmiterea acestei forțe traductorului de forță (4), portpenetratorului (6) și penetratorului (7) provocând imprimarea celui din urmă în materialul supus încercării. În urma executării programului automat se obține o ciclogramă asemănătoare celei din figura 13.

$$V_i = (F_{max} - F_1)(t_1 - t_0) \quad (3)$$

$$V_d = (F_{max} - F_1)(t_3 - t_2) \quad (4)$$

$$t_m = t_2 - t_1 \quad (5)$$

unde:

$F_1$ forța de apăsare realizată de echipajul mobil fără ca bobina (2) să fie sub tensiune.

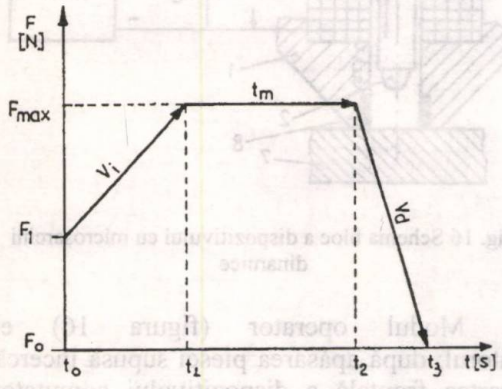



Fig. 13 Ciclograma de încărcare-menținere sub sarcină și descărcare a penetratorului

Trebuie menționat că echiparea acestui dispozitiv cu un senzor de deplasare de precizie miniatural (capacitiv) duce la obținerea unui sistem de măsurare deosebit de valoros, care permite realizarea unor cicluri de încărcare-descărcare cu forțe progresiv crescătoare, respectiv descărcătoare. Măsurarea și procesarea continuă a perechilor de valori forță-adâncime de pătrundere duce la posibilitatea culegerii, pe lângă duritate, a unor informații valoroase despre materialul metalic încercat. Aceste informații se referă atât la caracterizarea globală a comportării elastoplastice a materialului încercat, cât și la determinarea unor mărimi caracteristice precum: modul de elasticitate, grosime de strat, galvanic sau de lacuri și vopsele, lucru mecanic de deformare, tendința de fluaj, capacitate de ecruisare.

### 2.2 *Dispozitive pentru încercări de duritate cu sarcină dinamică*

Din motive de rigiditate încercările cu sarcini dinamice presupun structuri cu masa mare, atât în ce privește durimetrul cât și piesa supusă încercării. Plecând de la această constatare și de la faptul că microscoapele metalografice nu reprezintă structuri deosebit de rigide și de masă mare, până acuma nu s-a pus problema încercărilor dinamice direct pe microscop. Puținele încercări de interpretare optică a urmelor obținute pe cale dinamică s-au făcut prin obținerea acestora în afara structurilor microscopului, pe acesta examinându-se numai urmele lăsate. Cu totul altfel se pune problema încercărilor cu microsarcini dinamice. În această situație rigiditatea unui microscop este suficientă pentru încercare.

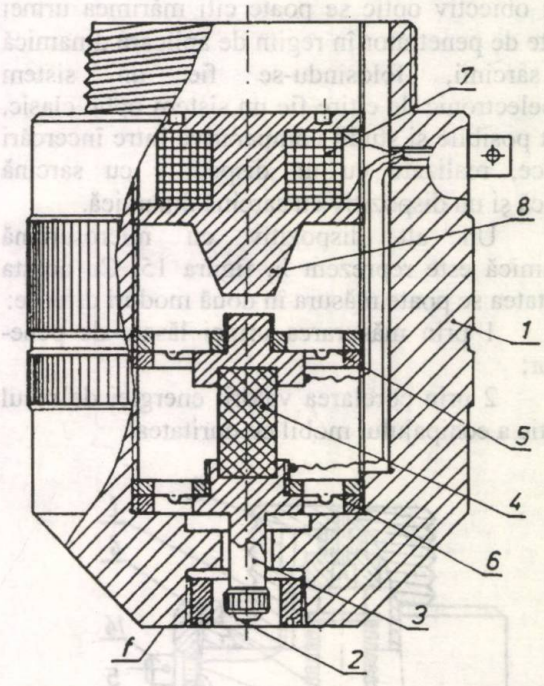



Fig. 14 Dispozitiv cu microsarcină dinamică și traductor piezoelectric de forță

În figura 14 este redat un dispozitiv cu microsarcină dinamică cu traductor de forță piezoelectric. Acesta se compune dintr-un corp (1) în care se găsesc dispuse echipajul mobil format din penetratorul (2), tija portpenetrator (3), traductorul piezoelectric de forță dinamică (4), două arcuri disc (5) și (6) și electromagnetul pentru realizarea sarcinii dinamice, format din

bobina (7) şi miezul (8). La acest dispozitiv suspendarea echipajului mobil fără frecare, pe cele două arcuri, prezintă un avantaj deosebit deoarece ponderea erorilor rezultate din frecări, în cazul încercării dinamice de duritate este mult mai mare decât în cazul încercărilor statice de duritate.

Modul operator este următorul: se pune bobina (7) sub tensiune, ceea ce provoacă anclanşarea echipajului mobil, provocând deformarea arcurilor disc (5) şi (6). În continuare se deplasează cu masa microscopului piesa de încercat în sus până când aceasta atinge partea frontală (*f*). La întreruperea curentului de alimentare a bobinei echipajul mobil este eliberat, iar prin destinderea celor două arcuri disc i se imprimă acestuia o energie cinetică. În momentul impactului penetratorul Vickers cu piesa de încercat această energie se transformă în energie de deformare plastică, generând o urmă a cărei suprafaţă este proporţională cu valoarea forţei dinamice de impact şi invers proporţională cu duritatea materialului încercat. Prin rotirea capului revolver şi aducerea în dreptul urmei a unui obiectiv optic se poate citi mărimea urmei lăsate de penetrator în regim de aplicare dinamică a sarcinii, folosindu-se fie un sistem optoelectronic de citire fie un sistem optic clasic. Sunt posibile şi studii comparative între încercări statice, realizate cu un dispozitiv cu sarcină statică şi un dispozitiv cu sarcină dinamică.

Un alt dispozitiv cu microsarcină dinamică este reprezent în figura 15. Cu acesta duritatea se poate măsura în două moduri diferite:

1 prin măsurarea urmei lăsate de penetrator;

2 prin corelarea valorii energiei de recul elastic a echipajului mobil cu duritatea.

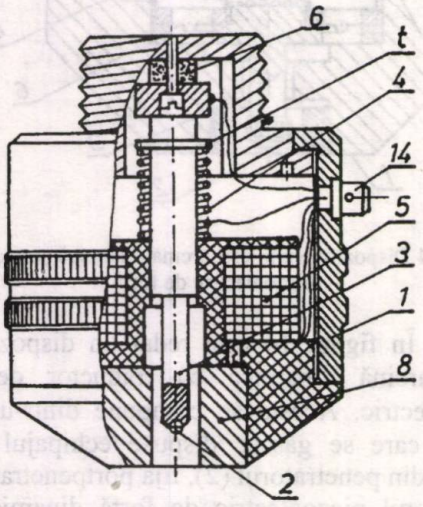



Fig. 15 Dispozitiv cu microsarcini dinamice cu posibilitatea măsurării urmei şi a energiei de recul elastic

Ambele modalităţi de determinare sunt folosite la ora actuală pentru definirea durităţii dinamice. Din cauze multiple din care enumerăm numai: posibilitatea automatizării complete precum şi miniaturizarea avansată, au făcut ca cel de-al doilea procedeu să-l devanseze puternic pe primul. În aceste condiţii un dispozitiv care să ofere posibilitatea evaluării durităţii în ambele moduri constituie un important mijloc de investigare şi de cercetare fenomenologică. În corpul (1) se găseşte dispus echipajul mobil format din penetratorul (2), tija portpenetrator (3), arcul (4) - sprijinit de bobina (5) şi umărul (*t*) al tijei portpenetrator. În partea superioară a corpului (1) se găseşte un traductor piezoelectric (6) de forţă dinamică apăsat în poziţia de repaus de tija (3).

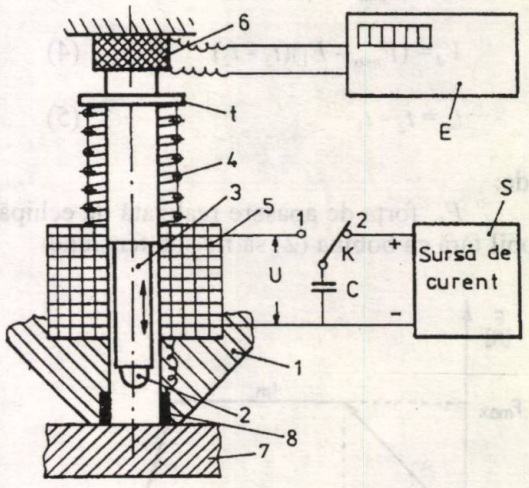



Fig. 16 Schema bloc a dispozitivului cu microsarcini dinamice

Modul operator (figura 16) este următorul: după apăsarea piesei supusă încercării de partea frontală a dispozitivului comutatorul (*K*) se trece în poziţia (1) ceea ce are ca efect descărcarea condensatorului (*C*) prin bobina (5) care atrage echipajul mobil ce se găseşte pe post de miez cu secţiunea variabilă în această bobină. Energia de descărcare a condensatorului ($E_{con}$):

$$E_{con} = CU^2/2 \qquad (6)$$

unde:

*U* tensiunea de încărcare a condensatorului [V];

*C* capacitatea condensatorului [F],

se transformă în energie cinetică ($E_{cin}$) a echipajului mobil pe care-l proiectează spre materialul supus încercării. În momentul impactului energia cinetică are expresia:

$$E_{cin} = mv^2/2 \qquad (7)$$

unde:

*m* masa echipajului mobil [kg]
*v* viteza echipajului mobil [m/s].

Parte din această energie se transformă în energie de deformare plastică măsurabilă prin procedeul electronic, parte constituie energie de recul elastic măsurabilă la impactul echipajului mobil cu traductorul de forţă piezoelectric prin valoarea vârfului de tensiune dat de acesta. Este evident că prin alegerea corespunzătoare a capacităţii (*C*) şi a tensiunii (*U*) de încercare a condensatorului, se poate atinge o gamă largă a energiilor de impact, bineînţeles în limitele microsarcinilor dinamice admise pentru acest dispozitiv.

## 3 Concluzii

Scopul propus a fost acela de a oferi o imagine de ansamblu asupra realizărilor din domeniul dispozitivelor speciale adaptabile microscoapelor metalografice prin înlocuirea unui obiectiv optic din capul revolver. Rolul acestor dispozitive este acela de a realiza încărcarea şi descărcarea penetratorului în condiţii de reproductibilitate şi precizie ridicată, cu respectarea standardelor în vigoare. Au fost dezvoltate, proiectate şi realizate dispozitive ce acoperă atât domeniul microsarcinilor statice cât şi cel al microsarcinilor dinamice.

S-au pus la punct şi dispozitive pentru măsurarea durităţii sub sarcină în domeniul static precum şi dispozitive care permit exprimarea durităţii prin energia de recul în domeniul sarcinilor dinamice. În variantele în care a existat posibilitatea, s-a apelat la controlul parametrilor încărcării cu senzori şi traductoare cu mărime de ieşire electrică, pentru facilitatea analizei pe sisteme de prelucrare automată a datelor.

*BIBLIOGRAFIE*


[1] *Weiler W.* - Härteprufung an Metallen und Kunstoffen, Expertverlag, Ehningen, 1990

[2] *Mocanu D.R.*s.a. - Încercarea materialelor, Editura Tehnică, Bucureşti, 1982

[3] *Blumenauer H.* s.a. - Werkstoffprüfung, VEB Deutscher Verlag fur Grundstoffindustrie, Leipzig, 1987.

[4] *Weingraber H.* - Technische Härtemessung, Hanser Verlag, Munchen, 1952

[5] *Gutt G.* s.a. - Neues Härteprüfverfahren aufgrund von Kraftmessung, Analele Universităţii Suceava, secţiunea mecanică, anul 1, Nr. 1-6, p. 80 -88, 1993

[6] *Weiler W., Fischer H.* - Mikrohärtemessung auf Knopfdruck, Materialprüfung B29, 1989, Nr.10, p 308- 311

[7] *Meyer R.* - Vickershärte und Tiefenhärte unter Prüfkraft, Materialprüfung, B29, 1987, Nr.6. p. 166 -170

[8] *Montagu Pollock H.* - Härteprüfung bei Eindringtiefen im Submikrometerbereich, Materialprüfung, Nr. 29, 1987, p.22-23

[9] *Weiler W.* - Zur Definition einer neuen Härteskala bei Ermittlung des Härtewertes unter Prüfkraft, Materialprüfung, 28, 1986, Nr. 7-8, p. 217 -220

[10] *Gutt G., Gutt S.* - Dispozitiv pentru măsurarea durităţii. Brevet 99352/1989;

[11] *Gutt G., Gutt S.* - Dispozitiv microdurimetric. Brevet 99353/1989;

[12] *Gutt G., Gutt S.* - Microdurimetru cu ultrasunete. Brevet 99149/1989;

[13] *Gutt G.* - Aparat pentru determinarea durităţii. Brevet RO 102868/1991;

[14] *Gutt G., Gutt S.* - Aparat pentru determinarea durităţii. Brevet 91680-1986.

# Durimetre electronice portabile bazate pe măsurarea forței de reacție a materialului încercat

*Georg GUTT*[*]
*Sonia GUTT**
*Berthold HADER*[**]

**Abstract.** *The paper presents a new type of electronic hardness tester based on force measurement. We consider both hardness as the resistance of the material to the action of an indenter, and the principle of the measurement of the force. The load of the indenter is exerted by the elastic force of a pressed spring seried with an electroresistant sensor dynamometric cell. The variations of the penetration depth are turned into force variations measured in the load circuit and this makes it possible to express hardness by force. Finally we present a new apparatus with a progressive increase of the load, having as a basic element the testing device of the instrument presented in the first part of the paper.*

**Resumé.** *Le papier présente un nouveau type de durometre électronique portable avec la mesurage de la force.On considčre la définition de la dureté comme la résistence du matériel opposée ŕ l'action d'un pénčtrométre et aussi le principe de la mesurage de la force. Le chargement du pénčtrométre est realisé par une force élastique d'un ressort precomprimé en serie avec une cellule dynamometrique avec des senseurs électroresistifs. Les variations de la profondeur de la pénetration (variations de dureté) sont traduisées en variations de la force mesurée dans le circuit de chargement, donne la possibilité d'exprimer la dureté par force. En fin on présente aussi un appareil avec le chargement progressive, qui á comme élément constructif principal la sonde de l'appareil presentée dans la prémičre partie de l'ouvrage. Au sonde de l'appareil s'attache un systčme élčctromecanique de chargement a came. Avec cette variante d'appareil nous pouvons aussi déterminer des autres parametres importants comme: module d'elasticité, énergie de déformation, tendance de fluage, capacité d'écrouissage, mesurage de la dureté sous le chargement (dureté universelle), utilisées pour une caracterisation complčte des matériaux.*

## 1 Noțiuni introductive

Prin noțiunea de duritate tehnică se înțelege în genere rezistența pe care o opune materialul la încercarea de pătrundere a unui corp mai dur denumit penetrator. Duritatea nu este propriu-zis o mărime fizică deoarece valoarea care o exprimă este dependentă de procedeu (penetrator, sarcina, timp de încărcare, viteza de încărcare etc), ca atare valorile de duritate, indiferent prin ce procedeu sunt obținute, sunt mărimi de caracterizare comparativă a materialelor. Cu toate acestea, încercarea de duritate este unul dintre mijloacele cele mai des utilizate pentru caracterizarea materialelor, datorită faptului că este rapidă, puțin distructivă și mai nou plină de informații despre materialul supus încercării.

Lucrarea de față face parte din preocupările autorilor în domeniul măsurării durității prin tehnici și procedee moderne. Ea se încadrează în așa numitele metode de încercare sub sarcină, acestea măsurând atât componenta de deformare elastică cât și componenta de deformare plastică. Prin aceasta se creează posibilitatea folosirii unei scări și a unor aparate de încercare unice atât pentru metale cât și pentru nemetale, iar valoarea durității capată sens fizic. La ora actuală s-au impus în acest domeniu două procedee și aparatele corespunzătoare: încercarea universală de duritate (HU) și încercarea de duritate cu ultrasunete UCI (Ultrasonic - Contact - Impedance) .

Încercarea universală de duritate (HU) se bazează pe măsurarea adâncimii de pătrundere sub sarcină și are următoarea expresie:

$$HU = \frac{F}{26{,}43 \cdot h^2} \qquad [\mathrm{N/mm^2}] \qquad (1)$$

[*] Universitatea "Ștefan cel Mare" Suceava
[**] Fachhochschule Aalen Germania

unde:

$F$ - forţa aplicată penetratorului, [N]

h - adâncimea de pătrundere sub sarcină, [mm]

Această încercare se efectuează cu durimetre fixe asemănătoare ca structură cu durimetrele Rockwell, având însă măsurare digitală a adâncimii de pătrundere. Dacă ar fi să menţionăm şi câteva probleme ale acestui tip de încercare a durităţii, trebuie să ne referim în primul rând la imposibilitatea determinării cu precizie a punctului de zero pentru adâncimea de pătrundere. Soluţiile oferite la ora actuală sunt operarea cu sarcină de preîncărcare sau extrapolarea spre puntul de zero pe baza modelului matematic. Este evident că asemenea aparate nu permit realizarea unor structuri de aparate portabile pentru încercarea de duritate.

Încercarea de duritate UCI are la bază corespondenta care există între frecvenţa de rezonanţă a unei tije metalice pe care se găseşte montat penetratorul şi modificarea acestei frecvenţe ca urmare a pătrunderii penetratorului pe o anumită adâncime în materialul încercat. Această modificare de frecvenţă este cu atât mai mare cu cât duritatea este mai mare. Materializarea aparaturii pentru acest tip de încercare s-a făcut în primul rând pentru variante portabile. Ceea ce se poate imputa oarecum acestui tip de încercare a durităţii este că ea se execută de fapt în condiţii de încercare semistatice, vârful penetratorului oscilând în domeniul ultrasonor, comportarea acestuia fiind de fapt cea a unui veritabil vârf vibrator, ceea ce duce la denaturarea informaţiilor despre materialul încercat.

## 2 Posibilitatea determinării durităţii materialelor metalice prin măsurarea forţei

### 2.1 *Problematica măsurării forţei*

Procedeul de încercare a durităţii, şi aparatul aferent propus de către autori, reprezintă o soluţie interesantă care se bazează pe măsurarea forţei de reacţie a materialului la încercarea de pătrundere a unui penetrator. Pentru explicare se pleacă de la modurile de măsurare a forţelor, având la bază bine cunoscuta relaţie:

$$F = m \cdot a \qquad (2)$$

Aşa cum se cunoaşte, forţele se pot determina numai prin efectul lor, respectiv prin:

- măsurarea acceleraţiei;
- prin forţe compensatoare de sens contrar.

Măsurarea forţei pe baza măsurării acceleraţiei presupune cunoaşterea masei (figura 1).

Fig. 1 Principiul calculului forţei pe baza măsurării acceleraţiei

Acest mod de abordare nu prezintă importanţă deosebită din punct de vedere tehnic; singurul avantaj este acela că în locul acţiunii forţei nu trebuie plasat un traductor de forţă, metoda bazându-se de fapt pe rezultanta tuturor forţelor ce acţionează în sensul accelerării corpului.

Măsurarea forţei pe baza echilibrării ei cu o forţă de compensare ($F_c$) cunoscută, astfel încât acceleraţia acesteia să se apropie de zero, este prezentată în figura 2. În aceste condiţii se poate scrie:

$$F = F_c = c \cdot s = F_{mec} \qquad (3)$$
$$a = 0$$

unde c este constantă, iar s este deplasarea arcului.

Modul acesta de măsurare este valabil numai atunci când $m \cdot a << F$. În general, forţa de compensare se produce pe cale mecanică. În momentul apariţiei forţei (F) corpul (1) se deplasează şi comprimă arcul (2). În momentul în care corpul (1) ajunge în repaus, $F=F_{mec}$, iar în cazul în care arcul are o caracteristică liniară se aplică relaţia (3). Această modalitate de măsurare a forţei are faţă de prima metodă de măsurare avantajul unei simplităţi mari şi a unui domeniu de măsurare extrem de mare. Ca dezavantaj trebuie menţionat faptul că spaţiul parcurs pentru efectuarea măsurării este mare. Prin efort de proiectare şi constructiv constanta arcului trebuie asigurată cu o liniaritate ridicată şi cu mare stabilitate în timp.

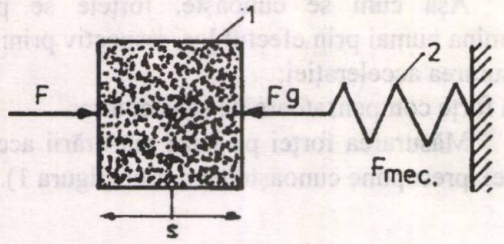



Fig. 2 Principiul calculului forţei pe baza echilibrării ei de către o altă forţă

Având în vedere aceste considerente, se poate realiza uşor analogia dintre forţa de compensare mecanică, realizată cu arcuri şi forţa ce se opune de către material la încercarea de pătrundere a unui penetrator (figura 3).

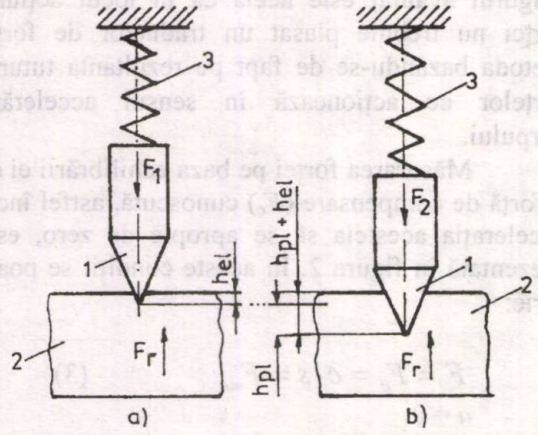



Fig 3 Principiul exprimării durităţii prin forţa de reacţie opusă de materialul încercat: a) înainte de pătrundere; b) după pătrundere

Pentru a defini forţa de reacţie se apelează la comportarea elasto - plastică a materialelor metalice. În aceste condiţii tensiunea ($\sigma$) reprezintă raportul dintre forţa ($F$) şi suprafaţa ($A$) pe care acţionează şi are expresia:

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad (4)$$

În domeniul elastic al materialului, definit prin legea lui *Hooke*, tensiunea ($\sigma$) are expresia:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \qquad (5)$$

$$\frac{F}{A} = \varepsilon \cdot E \qquad (6)$$

$$F = \varepsilon \cdot E \cdot A \qquad (7)$$

unde:

$E$ - modul de elasticitate,

$\varepsilon$ - alungirea specifică.

Dacă se consideră că la echilibru adâncimea de pătrundere în materialul încercat ($h_m$) este o măsură a rezistenţei (a durităţii) pe care o opune materialul încercat, se poate scrie :

$$F = F_r = F_{mec} \qquad (8)$$

$$F_R = c \cdot s \qquad (9)$$

de unde rezultă clar că în cadrul unui domeniu elastic modificări ale spaţiului parcurs ($s$) provoacă modificări ale forţei ($F$) şi invers. Întrucât modificările spaţiului ($s$) reflectă diferite adâncimi de pătrundere ($h_m$) în cazul apăsării penetratorului (1), prin intermediul unui arc (3) asupra materialului încercat (2), (figura 3,*a,b*) se poate concluziona că: *Modificări ale durităţii materialului încercat, exprimate prin adâncimi de pătrundere diferite, se reflectă în modificări ale forţei dezvoltate de către un sistem elastic (arc), asupra penetratorului, ca urmare a destinderi mai mari sau mai mici a acestuia cauzate tocmai de variaţia adâncimii de pătrundere.*

Valorificând această concluzie practic, se poate spune că, prin măsurarea forţei ($F$), din lanţul de măsurare: - arc (3); penetrator (1); material de încercat (2) se poate obţine expresia durităţii materialului încercat. La stabilirea acestor corelări trebuie avut în vedere faptul că în expresia forţei măsurate intervine conform relaţiei (7) şi modulul de elasticitate ($E$).

Referitor la lanţul de măsurare discutat mai sus modulul de elasticitate este unul complex ($E_c$), fiind influenţat de modulul de elasticitate al materialului suport pentru arc ($E_s$), al materialului arcului ($E_a$), al materialului portpenetratorului ($E_p$) al materialului penetratorului ($E_{pen}$), precum şi de cel al materialului încercat ($E_m$).

$$E_a = f(E_s, E_a, E_p, E_{pen}, E_m) \qquad (10)$$

În situaţia folosirii unui arc şi penetrator unic pentru realizarea forţei de apăsare, modulele de elasticitate ($E_s$, $E_a$, $E_p$, $E_{pen}$) pot fi considerate constante întrucât valoarea lor nu se modifică de la o aplicaţie la alta. În schimb modulul de elasticitate al materialului încercat ($E_m$), ca o expresie directă a compoziţiei chimice, variază de la un material la altul. Ca atare, tabelele de conversie: forţă măsurată ($F$) - duritate ($H$) trebuie întocmite

pe grupe de materiale cu module de elasticitate cât mai apropiate sau, în cazul urmăririi unor precizii ridicate de măsurare, chiar pe metale şi aliaje singulare.

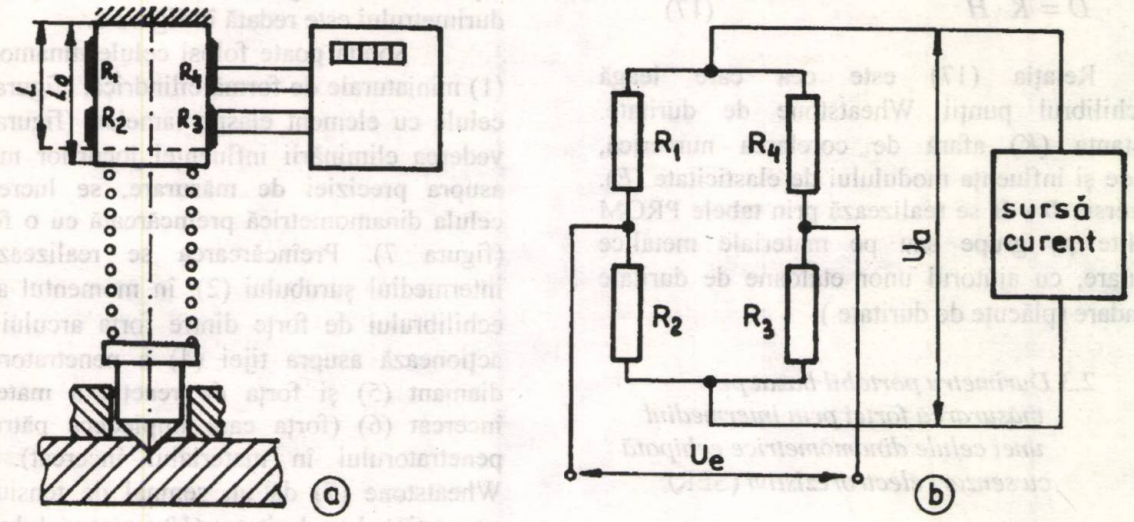



Fig 4 Principiul măsurării forţei de reacţie cu senzori electrorezistivi SER Celula dinamo-metrică rezistivă, (*a* ) cu folosirea punţii Wheatstone (*b*)

### 2.2 *Măsurarea forţei de reacţie cu celule dinamometrice echipate cu sensori electrorezistivi* (SER)

Din motive de precizie şi de posibilitate a obţinerii mărimii de ieşire electrică pentru realizarea unui durimetru bazat pe măsurarea forţei de reacţie, cel mai recomandat este un traductor de forţa cu senzori electrorezistivi (SER). În cazul acestor traductoare deformaţiei (ε) a elementului elastic :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \qquad (11)$$

îi corespunde o modificare relativă a sensorilor SER:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\Delta R}{R_0} \text{ sau } \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{1}{K}\frac{\Delta R}{R_0} \qquad (12)$$

Domeniile măsurabile cu SER sunt cuprinse între 10 μm/m şi $10^{-3}$ μm/m. Cel mai adesea ordinul de mărime este de 10 μm/m. Corespunzător de mici sunt şi modificările de rezistenţă ale SER; acestea pot fi măsurate în exclusivitate cu punţi Wheatstone (figura 4).

Dezechilibrul punţii are expresia (13):

$$D = \frac{U_e}{U_a} = \frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2} - \frac{R_4 + \Delta R_4}{R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4} \qquad (13)$$

În condiţiile în care cele patru rezistente au valori egale $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, rezistenţa internă a aparatului are valoare foarte mare $R_i$ şi rezistenţa internă a sursei valoare foarte mică, relaţia (13) se poate scrie sub forma simplificată:

$$D = \frac{1}{4}\left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4}\right) \qquad (14)$$

şi conform relaţiei (12) :

$$D = \frac{K}{4}\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4\right) \qquad (15)$$

În condiţiile în care celula dinamometrică, ca element de deformare elastică, este montată serie cu arcul (3) (figura 3b), rezultă că dezechilibrul punţii Wheatstone (figura 4) este o măsură a adâncimii de pătrundere ($h_m$) care la rândul ei este o măsură a durităţii ($H$) a materialului metalic încercat.

$$D \approx \frac{1}{h_m} \approx H \qquad (16)$$

$$D = K \cdot H \qquad (17)$$

Relaţia (17) este cea care leagă dezechilibrul punţii Wheatstone de duritate. Constanta ($K$) afară de corelarea numerică, include şi influenţa modulului de elasticitate ($E$). Conversia ***D - H*** se realizează prin tabele PROM stabilite pe grupe sau pe materiale metalice singulare, cu ajutorul unor etaloane de duritate secundare (plăcuţe de duritate ).

### 2.3 *Durimetru portabil bazat pe măsurarea forţei prin intermediul unei celule dinamometrice echipată cu senzori electrorezistivi* (SER)

Bazat pe cele enunţate anterior, colectivul de autori a conceput un durimetru electronic portabil bazat pe măsurarea forţei de reacţie a materialului de încercat cu ajutorul unei celule dinamometrice cu sensori electrorezistivi (SER). Schema de principiu a acestui aparat este redată în figura 6. Un asemenea durimetru este format dintr-o sondă şi o parte electronică, legate între ele printr-un cablu. O secţiune prin sondă este reprezentată în figura 5, iar schema de principiu a durimetrului este redată în figura 6.

Sonda poate folosi celule dinamometrice (1) miniaturale de formă cilindrică, (figura 5) sau celule cu element elastic lamelar, (figura 8). În vederea eliminării influenţei jocurilor mecanice asupra preciziei de măsurare, se lucrează cu celula dinamometrică preîncărcată cu o forţă $F_1$, (figura 7). Preîncărcarea se realizează prin intermediul şurubului (2), în momentul atingerii echilibrului de forţe dintre forţa arcului (3) ce acţionează asupra tijei (4) a penetratorului de diamant (5) şi forţa de reacţie a materialului încercat (6) (forţa care împiedecă pătrunderea penetratorului în materialul încercat). Puntea Wheatstone (7) dă un semnal de tensiune (U) proporţional cu duritatea ($H$) a materialului:

$$U \approx H \qquad (18)$$

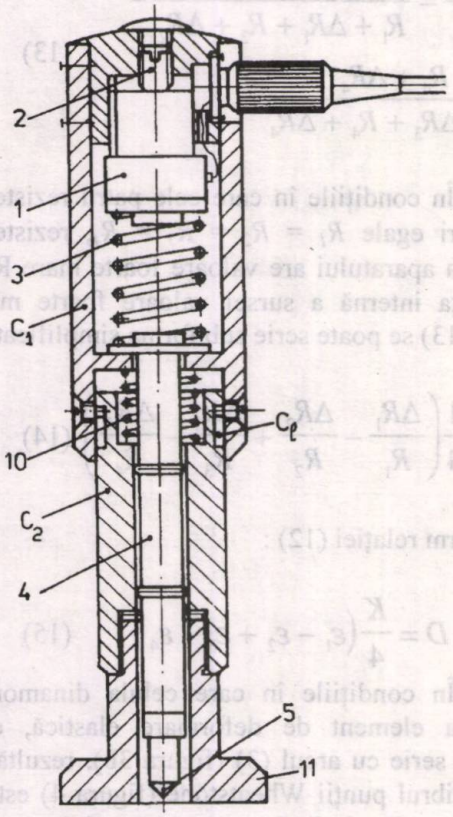



Fig 5 Secţiune prin sonda durimetrului electronic portabil bazat pe măsurarea forţei de reacţie a materialului încercat

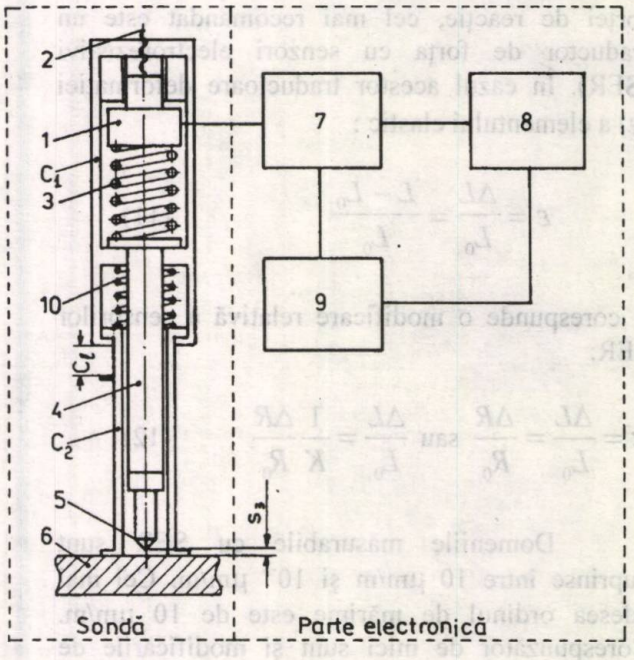



Fig. 6 Schema de principiu a unui durimetru electronic portabil bazat pe măsurarea forţei cu ajutorul unei celule dinamometrice cu (SER)

Acest semnal este în continuare prelucrat în procesorul (8), care realizează atât afişarea numerică a durităţii cât şi conversia acesteia, la cerere, în alte scări de duritate sau în rezistenţa la rupere. Printr-un program adecvat se poate realiza şi tipărirea unui buletin de încercări pe o miniimprimantă. În vederea prelucrării complexe a datelor experimentale, partea electronică poate fi racordată printr-o interfaţă serială RSC 232 la

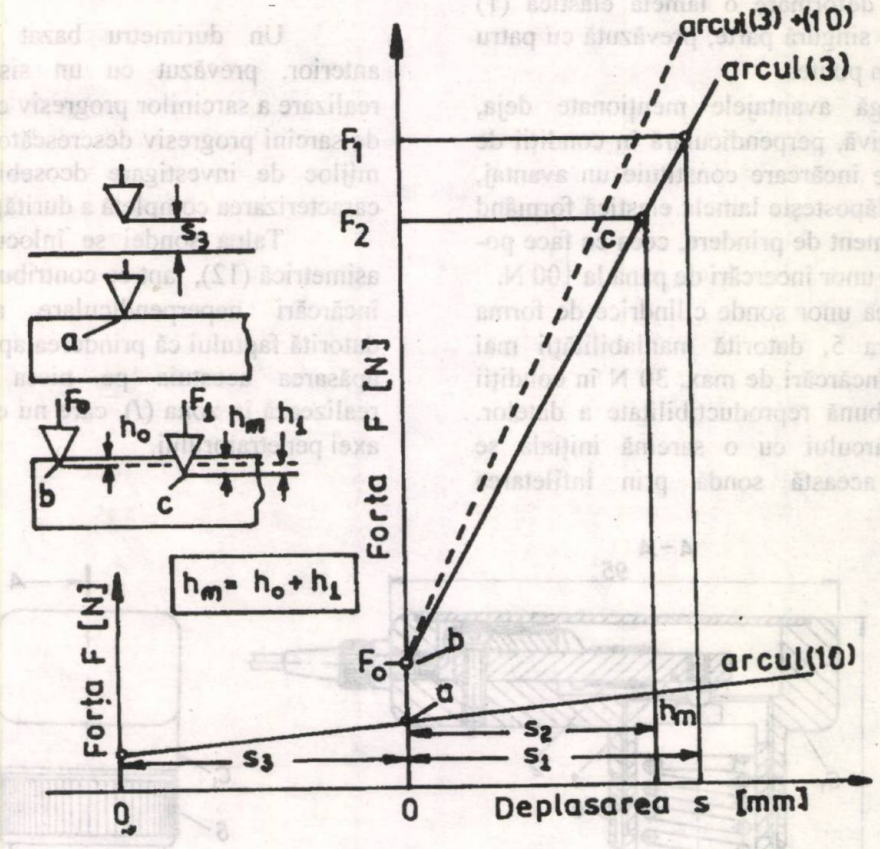



Fig.7 Caracteristica arcului preîncărcat

un PC sau la orice alt sistem electronic de prelucrare supraordonată a datelor.

Modul operator este următorul: sonda, ţinută în mâna de corpul fix ($C_1$), este presată în materialul de încercat (6) prin intermediul tălpii de contact (11) şi a corpului metalic ($C_2$). La început are loc comprimarea arcului (10), prin aceasta împiedicându-se deplasarea relativă a materialului încercat faţă de penetrator până la epuizarea cursei de limitare a deplasării ($C_l$).

După consumarea distanţei ($s_3$), (figura 7), penetratorul (5) atinge materialul încercat (6), (punctul *a*). Creşterea progresivă a forţei de încărcare duce la un moment dat la atingerea f forţei de preîncărcare ($F_0$)(punctul *b*). Continuând apăsarea, sarcina de încărcare depăşeşte forţa de preîncărcare ($F_0$), din acest moment senzorul de forţă începând să furnizeze un semnal de tensiune ($U$) proporţional cu încărcarea lui. Proporţionalitatea se păstrează până în punctul C corespunzător deplasării ($s_2$). Forţa ($F_2$) corespunzătore deplasării ($s_2$), sau mai bine zis diferenţa ($\Delta F$) dintre ($F_1$) - corespunzătoare unei durităţi infinite şi ($F_2$) - este o mărime invers proporţională cu duritatea ($H$) :

$$s_1 - s_2 = h_m \qquad (19)$$

$$\Delta F = F_1 - F_2 \equiv h_m \equiv 1/H \qquad (20)$$

unde:

- $h_m$ adâncimea de pătrundere a penetratorului în materialul încercat;
- $s_1$ deplasarea corespunzătoare unei durităţi infinite;
- $s_2$ deplasarea corespunzătore unei durităţi oarecare ($H$).

Semnalul de dezechilibru al punţii Wheatsone este preluat de partea electronică, amplificat şi procesat şi în final afişat ca duritate de către un display alpha - numeric.

Echiparea cu microprocesor a durimetrului permite memorarea în tabele PROM

a standardului de conversie în diferite scări de duritate şi prin aceasta realizarea afişării, la cerere, a conversiei valorii durităţii măsurate în orice altă scară de duritate.

Celulele dinamometrice de tip lamelar din producţia industrială curentă intră în componenţa cântarelor electronice şi realizează raporturi preţ/ performanţă mici, motiv pentru care am optat pentru această soluţie la durimetrul realizat la Universitatea Suceava, (figura 8). Sonda foloseşte ca element de deformare o lamelă elastică (1) încastrată într-o singură parte, prevăzută cu patru SER (2) legaţi în punte.

Pe lângă avantajele menţionate deja, forma constructivă, perpendiculară în condiţii de lucru pe axa de încărcare constituie un avantaj, corpul (3) ce adăposteşte lamela elastică formând un excelent element de prindere, ceea ce face posibilă realizarea unor încercări de până la 100 N.

Folosirea unor sonde cilindrice de forma celor din figura 5, datorită maniabilităţii mai reduse, permit încărcări de max. 30 N în condiţii de precizie şi bună reproductibilitate a datelor. Preîncărcarea arcului cu o sarcină iniţială se realizează la această sondă prin înfiletarea corpului sondei (C2) în corpul sondei (C1) până când partea electronică de afişare digitală indică valoarea de încărcare ($F_0$), după care se blochează cu piulita (6).

Modul operator este identic cu cel al durimetrului reprezentat în figura 5 şi figura 6.

### 3 Durimetru electronic portabil cu sarcina progresiv crescătoare bazat pe măsurarea forţei

Un durimetru bazat pe cele expuse anterior, prevăzut cu un sistem automat de realizare a sarcinilor progresiv crescătoare urmate de sarcini progresiv descrescătoare, reprezintă un mijloc de investigare deosebit de util pentru caracterizarea completă a durităţii (figura 9).

Talpa sondei se înlocuieşte cu o talpă asimetrică (12), fapt ce contribuie la evitarea unei încărcări neperpendiculare a penetratorului, datorită faptului că prinderea aparatului, respectiv apăsarea acestuia pe piesa de încercat se realizează în zona (*I*), care nu este în prelungirea axei penetratorului.

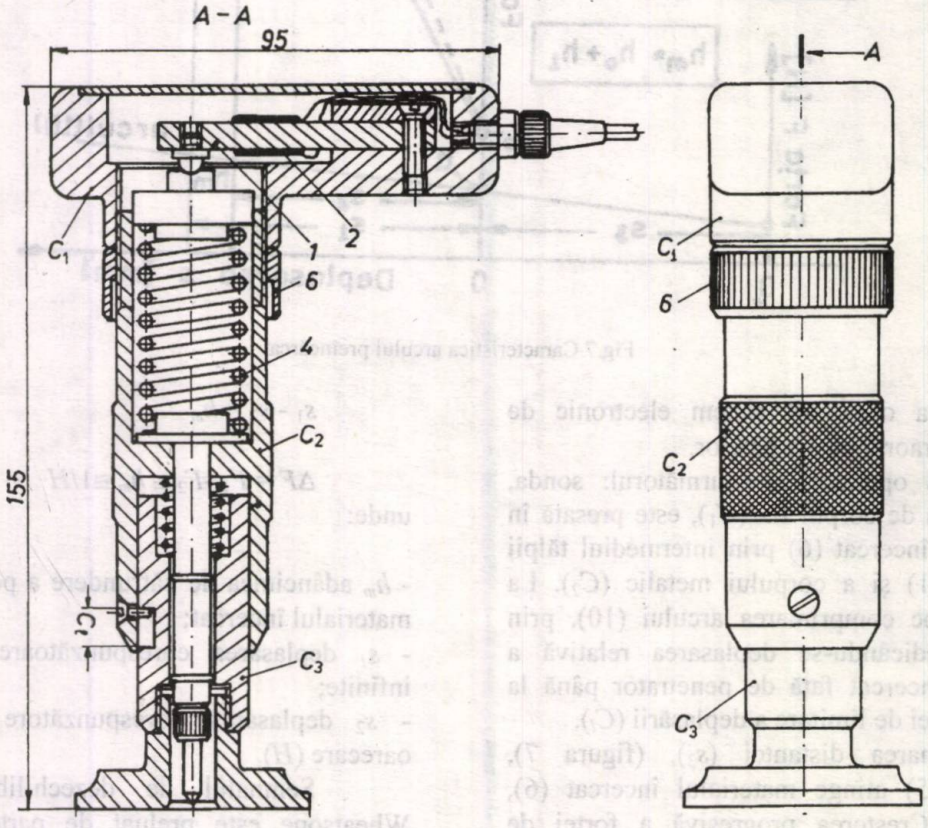



Fig. 8 Sonda de încercarea echipată cu celulă dinamometrică cu element elastic lamelar realizată la Universitatea Suceava

Sistemul de încărcare este compus dintr-un cadru (12) prevăzut la partea interioară cu o zonă cavă ce permite introducerea sondei precum şi rigidizarea acesteia prin patru şuruburi. La partea superioară a cadrului este dispus un motor de curent continuu (13), prevăzut cu un reductor (14), al cărui arbore (15) asigură la ieşire o turaţie de 6 rot/min. Prin intermediul unei came (16), al unui tachet (17) şi a arcului (18) mişcarea de rotaţie a arborelui este transmisă corpului (*C1*) al sondei, provocând deplasarea acesteia în jos pe o distanţă egală cu excentricitatea camei. Această distanţă reprezintă pe de-o parte distanţa parcursă până la contactul penetratorului cu materialul de încercat şi în parte pentru pătrunderea penetratorului pe adâncimea ($h_m$), pătrundere care este invers proporţională cu duritatea (*H*). În cazul acestui aranjament de măsurare sunt valabile relaţiile (19) şi (20). Mai trebuie menţionat că acest durimetru poate lucra şi ca durimetru fix de masă; în acest scop el se poate fixa pe un batiu rigid prin intermediul unei coloane (19), care la rândul ei se fixează cu şuruburi pe cadrul (13). Varianta aceasta oferă posibilitatea încercărilor de duritate si pe piese mici precum şi a controlului 100% prin intercalarea aparatului pe fluxuri de fabricaţie.

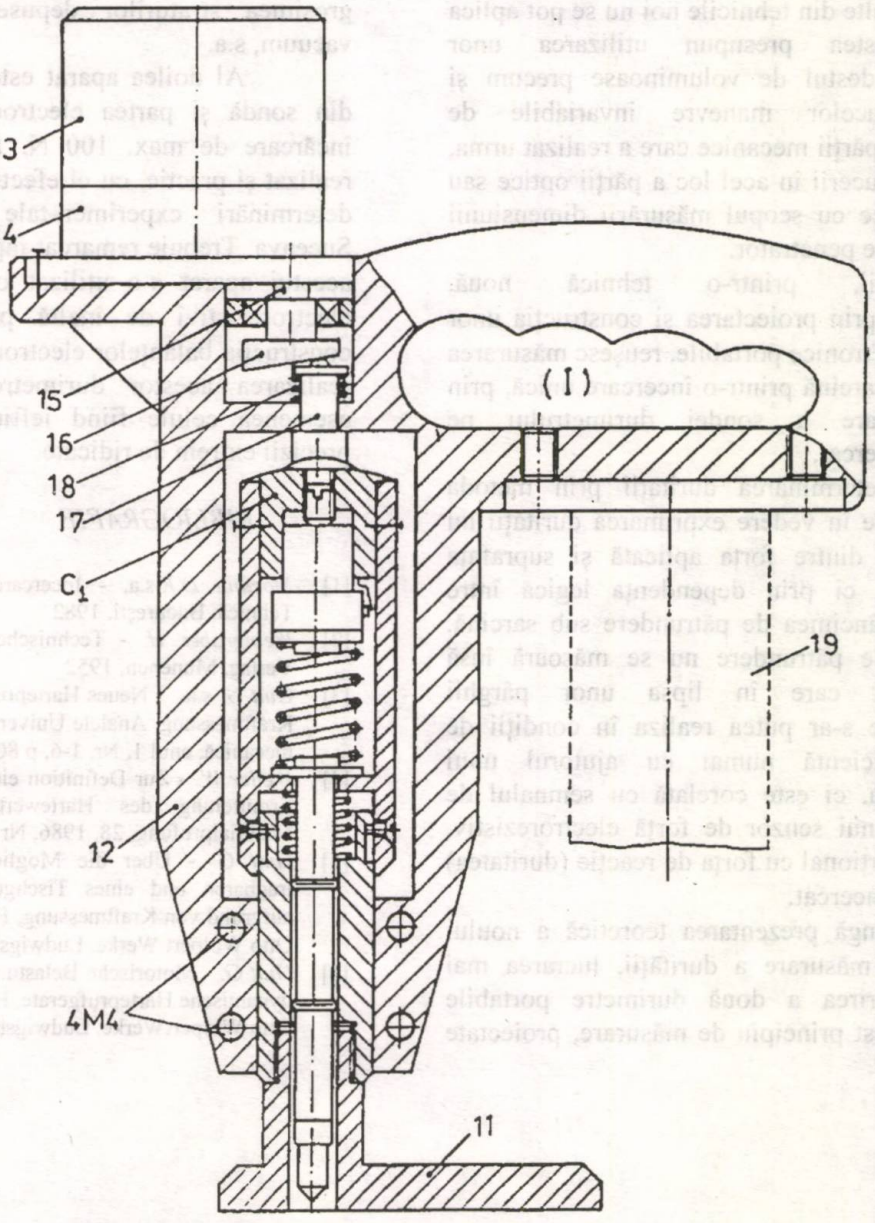



Fig. 9 Secţiune printr-un durimetru portabil cu sarcina progresiv crescătoare bazat pe măsurarea forţei de reacţie

## 4 Consideraţii finale

Încercarea de duritate reprezintă încercarea mecanică cel mai des folosită datorită rapidităţii cu care se obţin rezultatele, dar şi datorită preţului de cost scăzut şi în special datorită faptului că valoarea durităţii unui material metalic reprezintă şi un indice important al altor mărimi ce caracterizează materialul.

Progresul în domeniul electronicii precum şi în cel al tehnicii de calcul a dus în ultimii ani la o valorificare mai avansată a acestui ultim domeniu menţionat. Din păcate pentru durimetrele portabile, atât de utile la măsurarea durităţii pe piese agabaritice şi în locuri greu accesibile, multe din tehnicile noi nu se pot aplica întrucât acestea presupun utilizarea unor echipamente destul de voluminoase precum şi executarea acelor manevre invariabile de îndepărtare a părţii mecanice care a realizat urma, în vederea aducerii în acel loc a părţii optice sau optoelectronice cu scopul măsurării dimensiunii urmei lăsate de penetrator.

Autorii, printr-o tehnică nouă, materializată prin proiectarea şi construcţia unor durimetre electronice portabile, reuşesc măsurarea durităţii sub sarcină printr-o încercare unică, prin simpla apăsare a sondei durimetrului pe materialul încercat.

La determinarea durităţii prin metoda propusă se are în vedere exprimarea durităţii nu prin raportul dintre forţa aplicată şi suprafaţa urmei lăsate, ci prin dependenţa legică între aceasta şi adâncimea de pătrundere sub sarcină. Adâncimea de pătrundere nu se măsoară însă valoric, fapt care în lipsa unor pârghii amplificatoare s-ar putea realiza în condiţii de precizie suficientă numai cu ajutorul unui interferometru, ci este corelată cu semnalul de tensiune al unui senzor de forţă electrorezistiv, semnal proporţional cu forţa de reacţie (duritatea) materialului încercat.

Pe lângă prezentarea teoretică a noului principiu de măsurare a durităţii, lucrarea mai conţine descrierea a două durimetre portabile bazate pe acest principiu de măsurare, proiectate şi realizate de către autori la Universitatea Suceava.

Primul durimetru este un aparat portabil cu sarcină maximă de încărcare de 30 N. Sonda acestui aparat este astfel concepută încât să poată fi montată prin operaţii simple într-o structură mai complexă, care permite realizarea unor sarcini de încărcare progresiv crescătoare urmate de sarcini de descărcare progresiv descrescătoare. Din ciclograma de încărcare - descărcare astfel obţinută, pe lângă duritate, se pot obţine şi informaţii valoroase despre valoarea modulului de elasticitate (e), tendinţa de fluaj, capacitatea de ecruisare, lucrul mecanic de deformare, grosimea stratului de tratament termic de suprafaţă sau grosimea straturilor depuse galvanic sau în vacuum, s.a.

Al doilea aparat este un aparat compus din sondă şi partea electronică, cu sarcini de încărcare de max. 100 N. Acest aparat a fost realizat şi practic, cu el efectuându-se numeroase determinări experimen-tale la Universitatea Suceava. Trebuie remarcat faptul că la construcţia acestui aparat s-a utilizat o celulă cu senzori electrorezistivi de înaltă precizie, folosită la construcţia balanţelor electronice, fapt ce permite realizarea acestor durimetre la preţuri mici, asemenea celule fiind ieftine cu toate că au precizii extrem de ridicate.

### *BIBLIOGRAFIE*


[1] *Mocanu D.R.*s.a. - Încercarea materialelor, Editura Tehnică, Bucureşti, 1982

[2] *Weingraber H.* - Technische Hartemessung, Hanser Verlag, Munchen, 1952

[3] *Gutt G.* s.a. - Neues Harteprufverfahren aufgrund von Kraftmessung, Analele Universităţii Suceava, secţiunea mecanică, anul 1, Nr. 1-6, p 80 -88, 1993

[4] *Weiler W.* - Zur Definition einer neuen Harteskala bei Ermittelung des Hartewertes unter Prufkraft , Materialprufung, 28, 1986, Nr. 7-8, p. 217 -220

[5] *Gutt G.* - Uber die Moglichkeit des Baues eines tragbaren und eines Tischgerates zur Harteprufung aufgrund von Kraftmessung, Forschungsbericht Amsler Otto Wolpert Werke, Ludwigshafen, 1991

[6] *Gutt G.* - Motorische Belastungsarten fur statische und dynamische Harteprufgerate, Forschungsbericht Amsler Otto WolpertWerke, Ludwigshafen, 1991

# Măsurarea unor caracteristici ale stratului superficial la piese prelucrate prin aşchiere

*Mircea CIOBANU* *)

**Abstract**: *The paper presents an installation for appreciation of the internal tension of the plane pieces cutting. The installation has a differential inductive transducer that can move on the three axis coordinates, with core rod, which can easily move on vertical direction and can determine the value of the electrochemically detached layer. The installation is controlled by a Wheastone bridge and can by used for roughee measurement, or the tool wear measurement by a slight modification of the rod.*

**Résumé**: *L'ouvrage présente une installation pour apprécier les tensions internes de la piéce plane, usinée par coupages. L'installation est prévue avec un traducteur inductif différentiel, qui peu se déplacer sur un systéme de coordonnées en trois directions, avec un noyau en forme de tige qui peu se déplacer sur la direction verticale et peu saisisser la dimension de couche détachée électrochimiquement. L'installation est commandée par un pont de Wheatstone et peut ętre utilisée á la mesurage de la rugosité ou pour mesurer l'usure de l'outil par une simple modification de la tige.*

## 1 Consideraţii generale

Orice piesă sau ansamblu de piese trebuie să îndeplinească următoarele condiţii principale:

- să satisfacă integral cerinţele tehnico - funcţionale;
- să prezinte o durabilitate corespunzătoare;
- să fie realizate la un preţ minim şi cu o productivitate maximă.

Din punct de vedere tehnico - funcţional şi tehnologic, calitatea suprafeţelor se apreciază pe baza criteriilor:

- aspect geometric;
- proprietăţi fizico - mecanice ale stratului superficial.

Principalele caracteristici ale stratului superficial, care determină comportarea în exploatare, sunt microduritatea şi starea de tensiuni.

Cercetările experimentale [1, 3, 4, 5] au pus în evidenţă că la piesele prelucrate prin aşchiere lucrul mecanic se transformă aproape integral în căldură, iar în zona de aşchiere se formează o stare de tensiune similară stării de tensiuni de la prelucrarea mecanică prin deformare plastică. De aceea formarea stratului superficial al pieselor prelucrate, cu scule metalice şi scule abrazive, capătă aspecte specifice.

## 2 Tensiuni remanente în suprafeţe plane [3, 5]

Prelucrarea suprafeţelor plane prin frezare, rabotare, rectificare etc., conduce la modificarea stării de tensiuni, din stratul superficial, rezultanta fiind suma algebrică a tensiunilor din semifabricat şi după prelucrarea respectivă.

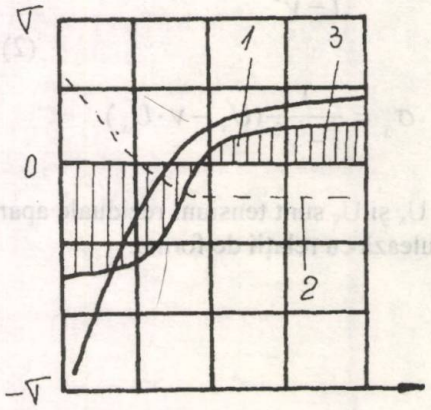



Fig. 1

Funcţie de adâncime, tensiunile remanante apar ca în figura 1, în care:

1 - tensiuni datorate deformării plastice;
2 - tensiuni datorate temperaturii;
3 - suma tensiunilor.

* )Universitatea "Ştefan cel Mare" Suceava

Punerea în evidenţă a stării de tensiuni presupune înlăturarea unor straturi de material, prin procedee electrochimice, pentru a materializa săgeţile de încovoiere pe direcţiile x şi y, (figura 2).

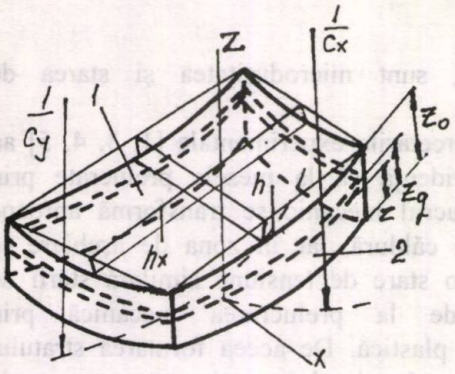



Fig. 2

Cunoscând săgeţile şi lungimile corzilor $L_x$ şi $L_y$ se pot calcula curburile:

$$C_x = \frac{8 \cdot H_x}{L_x^2} \qquad C_y = \frac{8 \cdot H_y}{L_y^2} \qquad (1)$$

Tensiunile principale se calculează cu relaţiile:

$$\sigma_x = \frac{1}{1-\nu^2}(U_x - \nu \cdot U_y)$$

$$\sigma_y = \frac{1}{1-\nu^2}(U_y - \nu \cdot U_x) \qquad (2)$$

în care $U_x$ şi $U_y$ sunt tensiuni reziduale aparente şi se calculează cu relaţii de forma:

$$U_x = -\frac{E}{6} \cdot \left[ (h-z)^2 \cdot \frac{dC_x}{dz} - 4(h-z) \cdot C_x + 2\int_0^z C_x \cdot d\xi \right]$$

$$U_y = -\frac{E}{6} \cdot \left[ (h-z)^2 \cdot \frac{dC_y}{dz} - 4(h-z) \cdot C_y + 2\int_0^z C_y \cdot d\xi \right] \qquad (3)$$

unde:

$E$ - modulul lui Young [N/m$^2$];

$\nu$ - coeficientul lui Poisson;

$h$ - grosimea probei [mm];

$z$ - grosimea înlăturată de pe suprafaţă [mm];

$\xi$ - adâncimea unei secţiuni stabilită pe suprafaţă ($0 < \xi < z$).

### 3 Descrierea constructivă şi funcţională a instalaţiei

Schema de principiu a instalaţiei este prezentată în figura 3.

Instalaţia cuprinde o cuvă cu perete dublu în care are loc dizolvarea electrochimică, în prezenţa unui electrolit. Între pereţii dubli circulă apa pentru răcire. Piesa (2) supusă dizolvării se aşează pe un suport, iar pe ea se poate deplasa, după axele $x$ şi $y$, o tijă de sticlă (3) şi un catod (4). Tija (3), ce se ghidează pe rulmenţii (5), constituie miezul unui traductor inductiv diferenţial (6), care asigură transformarea variaţiei de lungime în variaţie de inductanţă. Traductorul este comandat printr-o punte tensometrică, nereprezentată, şi se poate deplasa în plan longitudinal printr-o sanie (7) acţionată de un şurub micrometric (8).

Deplasarea pe direcţie transversală se face prin intermediul unei sănii (9), acţionată de un şurub micrometric (10), iar în plan vertical prin sania (11) şi şurubul micrometric (12). Pentru a asigura termostabilitatea se foloseşte o termorezistenţă (15) care comandă motopompa (13) ce va recircula apa din rezervorul (14).

Puntea tensometrică etalonată va sesiza deplasările tijei.

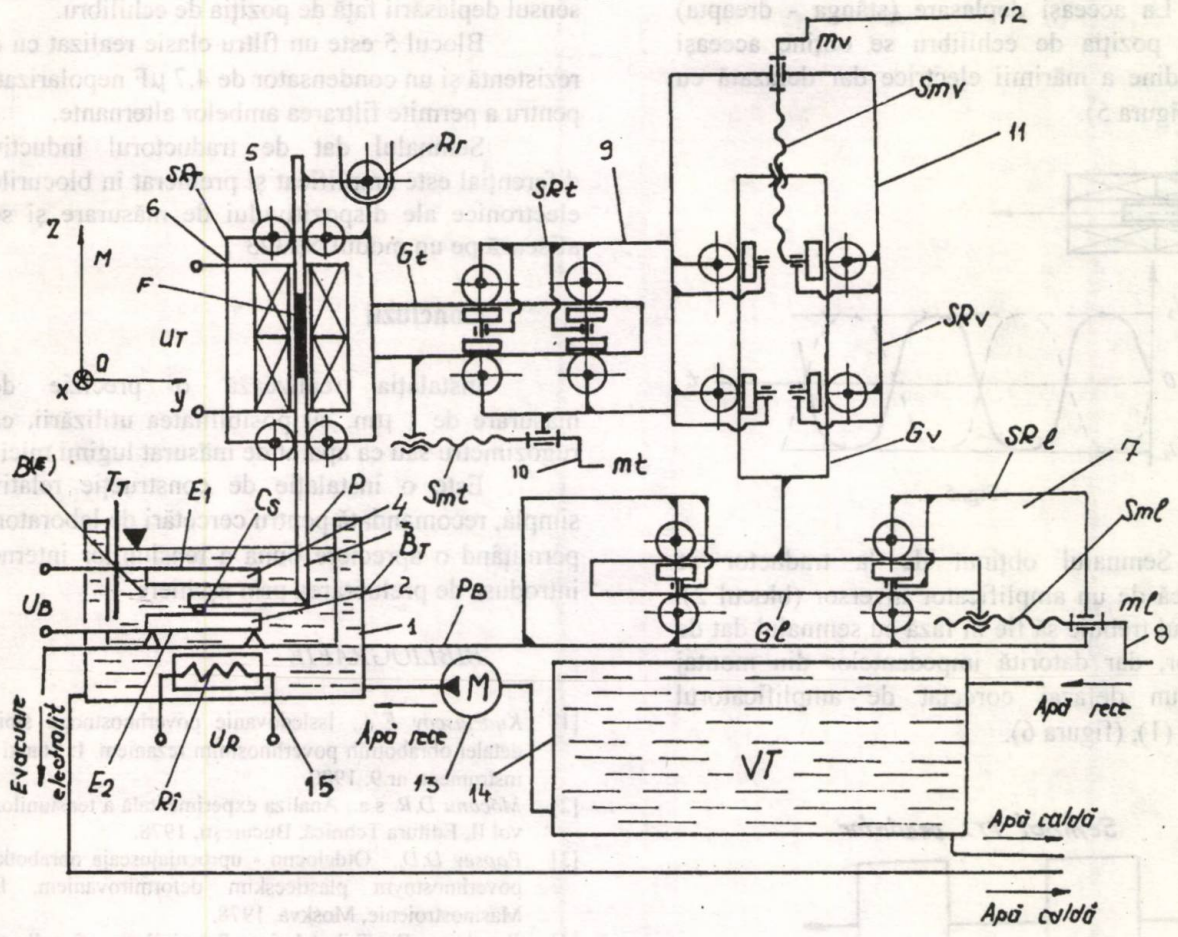



Fig. 3

În figura 4 este prezentată schema bloc a dispozitivului de măsurare.

1 - bloc traductor;
2 - amplificator semnal - eroare;
3 - amplificator defazor;
4 - redresor sensibil fază;
5 - filtru;
6 - amplificator c.c.;
7 - oscilator;
8 - formator de semnal T.T.L.

Blocul traductor (1) este de tip diferenţial şi a fost preferat deoarece are o porţiune mai mare de liniaritate.

Traductorul este alimentat cu o tensiune sinusoidală de 10 V cu frecventa de 4 kHz, prin intermediul unui transformator oală de ferită cu priză mediană în secundar şi raport de transformare de 1/2.

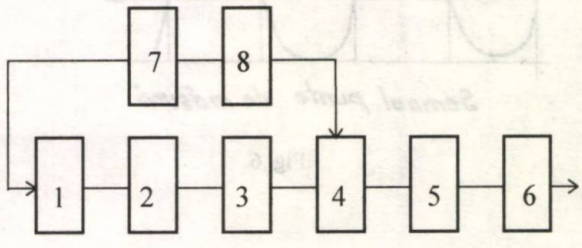



Fig. 4

Rolul transformatorului este de a separa traductorul de restul montajului, de a forma o punte de măsură, implicit de a creşte sensibilitatea traductorului.

În poziţia de echilibru (miezul de ferită F în mijlocul bobinelor) puntea este echilibrată, iar tensiunea ce apar în diagonala punţii este zero.

În momentul apariţiei unei deplasări a miezului, puntea se dezechilibrează şi apare o tensiune sinusoidală, a cărei amplitudine depinde

de mărimea deplasării miezului, tensiune ce se menţine la aceeaşi valoare până în momentul apariţiei altei deplasări a miezului.

La aceeaşi deplasare (stânga - dreapta) faţă de poziţia de echilibru se obţine aceeaşi amplitudine a mărimii electrice dar defazată cu 180°, (figura 5).

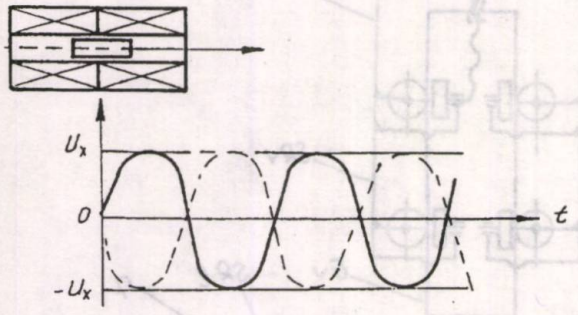



Fig. 5

Semnalul obţinut de la traductor se amplifică de un amplificator inversor (blocul 2). Semnalul trebuie să fie în fază cu semnalul dat de oscilator, dar datorită impedantelor din montaj apare un defazaj corectat de amplificatorul defazor (1), (figura 6).

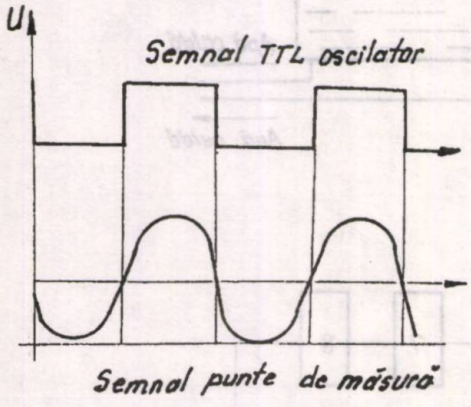



Fig. 6

Blocul 4 este un redresor sensibil de fază, la ieşirea lui obţinându-se o redresare a alternantelor pozitive sau negative în funcţie de sensul deplasării faţă de poziţia de echilibru.

Blocul 5 este un filtru clasic realizat cu o rezistentă şi un condensator de 4,7 μF nepolarizat, pentru a permite filtrarea ambelor alternante.

Semnalul dat de traductorul inductiv diferenţial este amplificat şi prelucrat în blocurile electronice ale dispozitivului de măsurare şi se afisează pe un modul N2323

## Concluzii

Instalaţia realizează o precizie de măsurare de 1 μm, cu posibilitatea utilizării, ca rugozimetru sau ca aparat de măsurat lugimi mici.

Este o instalaţie de construcţie relativ simplă, recomandată pentru cercetări de laborator, permiţând o apreciere bună a tensiunilor interne introduse de prelucrarea prin aşchiere.

*BIBLIOGRAFIE*

[1] *Kudriascov E.A.*, Issledovanie poverhnostnogo sloia detalei obrabotnîh poverhnostnîm rezaniem. I: Stanki i instrument, nr.9, 1980.

[2] *Mocanu D.R.* s.a., Analiza experimentală a tensiunilor, vol II, Editura Tehnică, Bucureşti, 1978.

[3] *Papsev D.D.*, Otdelocno - uprocnjajuscaja obrabotka poverhnostnym plasticeskim deformirovaniem. In Masinostroienie, Moskva, 1978.

[4] *Pavelescu D.*, Tribotehnica. Principii noi şi aplicaţii privind frecarea, uzura şi ungerea maşinilor. Editura Tehnică, Bucureşti, 1983.

[5] *Paraschiv D.*, Contribuţii la studiul influenţei metodelor de prelucrare asupra proprietăţilor fizico - mecanice ale stratului superficial la unele materiale pentru scule şi elemente de rulmenţi. Teză de doctorat, Iaşi, 1981.

# O nouă metodă de măsurare a grosimii filmului EHD din angrenaje evolventice

*Romeo P.GLOVNEA* *
*Gabriela GLOVNEA*

**Abstract**:*Even though many experimental techniques for measuring the film thickness in elastohydrodyna-mically lubricated contacts are known, in the case of spur gears the problem is difficult to solve due to the geometrical and kinematic particularities of then. The few results shown in the literature are either unreliable or are limited to the pitch point. A new method and an experimental rig for investigating the film thickness formed in spur gears and preliminary results are presented in this paper.*

**Résumé:** *Aujourd'hui plusieurs techniques sont connues pour mesurer l'épaisseur du film elastohydrody-namique. Pourtant, ce probléme est trés difficile a résoudre dans le cas des engrenages, á cause des leurs particularités géométriques et cinématiques. Les peu résultats expérimenteaux signalés dans la littérature ne sont pas concluantes ou sont limités au pôle de l'engrenement. Ce papier présente une nouvelle méthode et une installation expérimentale pour mesurer l'éppaisseur du film, et aussi les résultats préliminaires.*

## 1 Generalităţi

Problema măsurării grosimii filmului de lubrifiant din contactele EHD punctuale sau liniare este în prezent rezolvată. În acest scop sunt folosite tehnici variate, cum ar fi: măsurarea rezistenţei sau capacităţii electrice a contactului [1], [2], [3], măsurarea nivelului radiaţiilor *x* sau γ care străbat contactul în lungimea sa, [4], interferometria optică, [5], [6], sau mai recent, fluorescenţa laser, [7], sau spectroscopia Raman, [8]. Metoda interferometriei optice a fost prima care a dat rezultate concludente, oferind forma exactă a peliculei, ea fiind ulterior extinsă pentru măsurarea filmelor ultrasubţiri, ce se întâlnesc în cazul emulsiilor sau a unor uleiuri, [9].

Geometria şi cinematica specifică a transmisiilor cu roţi dintaţe fac foarte dificilă măsurarea directă a grosimii filmului dintre dinţii în contact. Există puţine încercări, în această direcţie, relatate în literatură.

Popovici [10] foloseşte metoda capacitivă, confecţionând una dintre roţi dintr-un material izolator electric (textolit); unul dintre dinţi este acoperit cu un strat metalic, constituind astfel armătura unui condensator. Cealaltă armătură este formată de dinţii roţii conjugate. Autorul compară rezultatele experimentale obţinute cu cele obtinuţe prin calcul, cu relaţia Sirobocov-Drozdov, ajungând la concluzia, că cel puţin din punct de vedere calitativ, rezultatele sunt asemănătoare.

O metodă şi o instalaţie mai sofisticate utilizează Yang Ji-Bin şi colaboratorii [11]. Metoda este indirectă, deoarece se măsoară, cu ajutorul unui fascicul laser, interstiţiul dintre dinţii unui angrenaj suplimentar neîncărcat, ce este antrenat, în mişcare, odată cu angrenajul asupra căruia se efectuează măsurătorile propriu zise. Potrivit autorilor, precizia de măsurare este de 0,1 μm şi depinde de sensibili-tatea elementelor fotosensibile folosite.

## 2 Instalaţie experimentală

Se ştie, de la cinematica angrenării, că punctul de contact are în cazul angrenajelor evolventice, o traiectorie rectilinie, linia de angrenare având o direcţie fixă (figura 1).

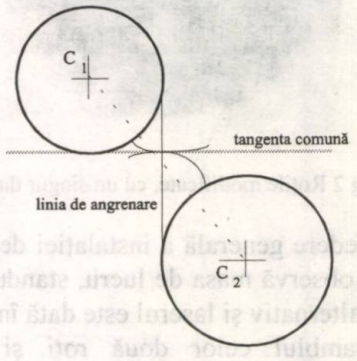



Fig. 1
Principiul metodei de măsurare a grosimii filmului dintre dinţii angrenajelor evolventice

* Universitatea "Ştefan cel Mare" Suceava

Este evident că, în această situaţie, şi direcţia tangentei comune la cele două flancuri este fixă.

Pornind de la această observaţie, a rezultat ideea realizării unui stand în care măsurarea grosimii fimului dintre dinţii angrenajelor să se facă prin trecerea unei raze de lumină coerentă prin interstiţiul dintre două profile evolventice.

Pentru aceasta este necesar ca cele două profile să aparţină unor elemente de construcţie specială, care să permită trecerea luminii printre cele două profile evolventice în lungul tangentei la ele. Modul cum este realizată soluţia constructivă este prezentat în continuare.

Standul cuprinde, ca elemente principale, două angrenaje identice din punct de vedere al parametrilor geometrici, din care unul este prelucrat în aşa fel încât să rămână cu numai un dinte. Angrenajul dintre dinţii căruia se măsoară grosimea primeşte mişcarea de la un motor electric, prin intermediul unei transmisii cu curea dinţată. Roata condusă are montată pe arborele ei discul unei frâne cu curenţi turbionari. Aceasta mai cuprinde piesele polare, montate la masa de lucru prin intermediul unor lamele elastice. Cele două elemente dinţate sunt prelucrate în aşa fel între ele se realizează un interstiţiu de 0,02 mm. O imagine a roţilor de construcţie specială se prezintă în figura 2.

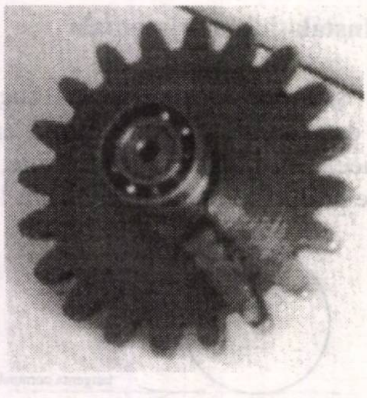


Fig 2 Roţile modificate, cu un singur dinte

O vedere generală a instalaţiei de măsurare, în care se observă masa de lucru, standul, motorul de curent alternativ şi laserul este dată în figura 3.

Ansamblul celor două roţi şi elemente dinţate sunt montate într-o carcasă metalică.

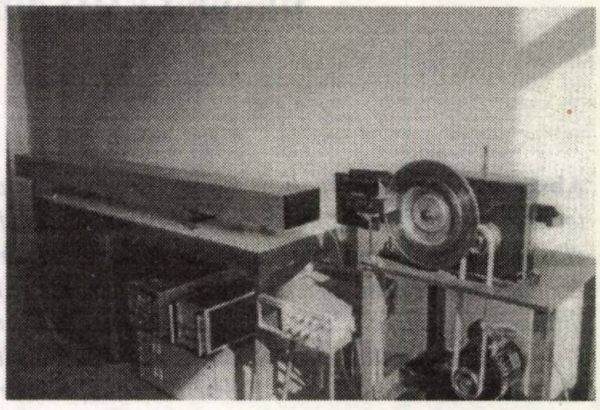


Fig 3 Vedere generală a instalaţiei de măsurare

Spaţiul interior al carcasei este împărţit în două camere printr-un perete despărţitor din material plastic, ceea ce permite ca să fie lubrifiate doar roţile de măsurare, nu şi cele două elemente dinţate. În carcasă sunt practicate, în pereţii laterali, două fante verticale care permit razei de lumină provenită de la un laser să treacă dintr-o parte în alta a ei. Pe exteriorul carcasei sunt montate două oglinzi, care deviază drumul razei luminoase prin interstiţiul dintre cele două elemente dinţate. Oglinda este montată pe un cadru ce are posibilitatea de a se deplasa pe direcţia liniei de angrenare. Această deplasare este realizată cu un mecanism şurub-piuliţă. La extremitatea cadrului, la acelaşi nivel cu oglinda, este plasat un detector optic.

## 3 Modul de lucru şi rezultate experimentale

Se porneşte laserul şi se reglează poziţia oglinzilor şi a detectorului de lumină astfel încât drumul parcurs de raza de lumină ce trece printre cei doi dinţi să fie orizontal. Se fixează cadrul ce susţine oglinzile în poziţia corespunzătoare intrării în angrenare.

Se pune ulei în camera angrenajului şi se porneşte motorul. Semnalul electric furnizat de detectorul de lumină este amplificat cu ajutorul unui montaj electronic a cărui schemă este prezentată în figura 4.

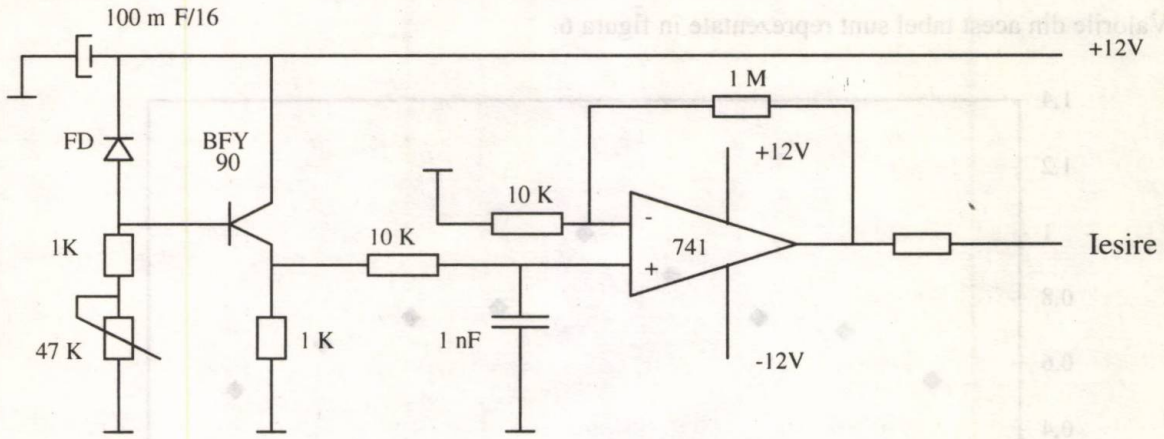



Fig. 4 Montajul de amplificare

Ţinând seama de faptul că timpul cât raza de lumină trece prin interstiţiul dintre cele două elemente dinţate este foarte mic, de ordinul microsecundelor, s-a urmărit detectarea înălţimii şi nu a lăţimii semnalului provenit de la detector. Acest semnal este transmis unui osciloscop digital, care îl memorează, şi apoi este preluat cu ajutorul calculatorului electronic şi folosind programul Grabber, este afişat şi tipărit. Este evident că mărimea semnalului electric furnizat de detector este proporţională cu cantitatea de lumină care cade pe acesta, astfel încât el poate da informaţii despre mărimea interstiţiului care separă cei doi dinţi. Semnalul afişat pe ecranul osciloscopului şi pe monitorul calculatorului este de forma unor bare verticale ce corespund trecerilor interstiţiului dintre profile prin dreptul razei de lumină, după cum se vede în figura 5.

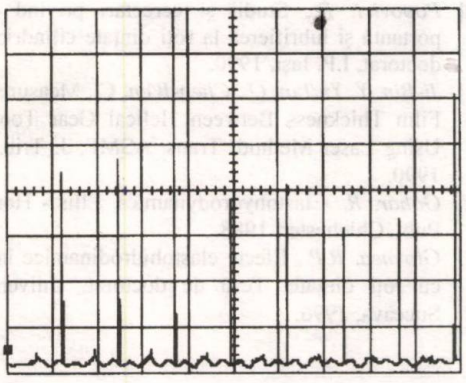


Fig 5
Semnalul electric furnizat de către detector

Pentru etalonare se aduc cei doi dinţi în dreptul razei de lumină, se încarcă static contactul dintre dinţii angrenajului de măsură şi se citeşte indicaţia osciloscopului. După cum arată valorile indicaţiilor osciloscopului, în prezent, se pare că montajul electronic nu reuşeşte să prindă întregul semnal furnizat de detector, aşa încât semnalul obţinut în timpul funcţionării standului este mai mic decât cel obtinut în timpul etalonării.

Roţile angrenajului de măsurare sunt cu dinţi drepţi, au un număr de 20 de dinţi şi modulul 8 mm. Uleiul utilizat în experimente este uleiul cel mai uzual de transmisii, T90.

În tabelul 1 sunt prezentate valorile mediilor a 11 citiri pe ecranul osciloscopului în diferite puncte de-a lungul segmentului de angrenare.

Cu toate că valorile semnalului electric nu pot da, deocamdată, informaţii despre mărimea exactă a grosimii filmului, totuşi ele indică modul de variaţie a grosimii filmului de-a lungul segmentului de angrenare. După cum se observă, este evidentă o scădere a grosimii spre capetele segmentului de angrenare. Acest lucru se explică prin aceea că spre capetele segmentului de angrenare temperatura corpului dintelui este mai mare datorită alunecărilor, ceea ce face ca vâscozitatea cu care uleiul intră în contact să fie mai scăzută şi deci grosimea filmului mai mică, ştiut fiind că grosimea filmului EHD depinde de condiţiile din zona de intrare în contact. Aceste rezultate sunt în bună concordanţă cu estimări teoretice întâlnite în literatura de specialitate, [12], [13].

Tabelul 1

| pozitia | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| indic. mV | 190 | 300 | 380 | 400 | 470 | 540 | 420 | 400 | 360 | 280 | 180 |

Valorile din acest tabel sunt reprezentate în figura 6.

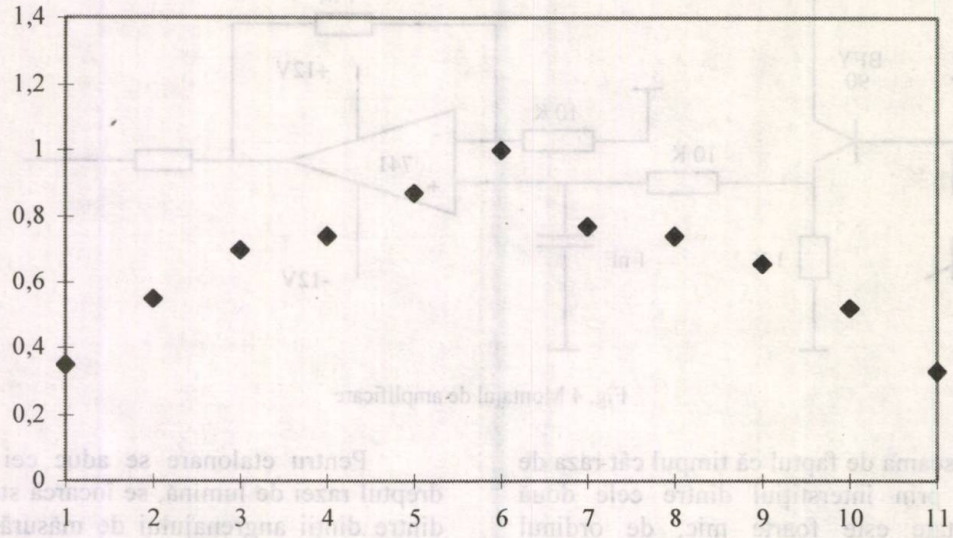



Fig. 6 Variaţia grosimii relative a filmului de-a lungul segmentului de angrenare

## 4 Concluzii

Lucrarea prezintă o metodă şi un stand experimental originale, pentru măsurarea grosimii filmului elastohidrodinamic dintre dinţii angrenajelor evolventice cu dinţi drepţi. Ele se bazează, în esenţă, pe măsurarea cantităţii de lumină care trece prin interstiţiul format între două elemente dinţate neîncărcate şi nelubrifiate, care se mişcă odată cu angrenajul de măsură propriu zis. Rezultatele preliminarii obţinute dovedesc viabilitatea metodei, ele furnizând informaţii despre modul de variaţie a grosimii filmului de-a lungul segmentului de angrenare, în bună concordanţă cu estimări teoretice întâlnite în literatura de specialitate.

*BIBLIOGRAFIE*

[1] *Lane, T.B., Highes, J.R.*, A study of the film formation in gears by electrical resistance measurements, Brit. Jour. Appl. Phys., 3, 1952.

[2] *Dyson, A.*, Investigation of the discharge voltage method of measuring the thickness of oil films, Proc. Inst. Mech. Engrs., 1981.

[3] *Crook, A.W.*, Developments in elastohydrodynamic lubrication, Jour. Inst. Pet., 49, 1963.

[4] *Hanga, E., Matiesan, D., Pop, D.*, Posibilităţi de măsurare a filmului de lubrifiant în regim dinamic printr-o metodă utilizând radiaţii gama, Tribotehnica '84, Iaşi, vol.2.

[5] *Cameron, A., Gohar, R.*, Theoretical and experimental studies of the oil in lubricated point contact, Proc. R. Soc. London, A291,1966.

[6] *Gohar, R., Cameron, A.*, The Mapping of Elastohydrody-namic Contacts, Trans. ASLE, 10, 1967.

[7] *Hoult, D.P., Lux, J.P., Wong, V.W, Brillian, S.A.*, Calibration of Laser Fluorescence of Film Thickness in Engines, SAE Trans., 32, 1989.

[8] *Gardiner, D.J., Baird, E.M., Craggs*, **C.**, Raman Spectroscopy of a Working Elastohydrodynamic Contact, Lub. Sci., 1, 1989.

[9] *Westlake, F.J.*, An interferometric study of ultra-thin films, Teză de doctorat, Universitatea din Londra, 1970.

[10] *Popovici, D.*, Studii şi cercetări privind capacitatea portantă şi lubrifierea la roţi dinţate cilindrice, Teză de doctorat, I.P. Iaşi, 1990.

[11] *Ji-Bin, Y. Yu/Lin, Q., Chen-Wen*, **C.**, Measurement of oil Film Thickness Between Helical Gear Tooth Profiles Using Laser Method, Trans. ASME, J. Trib., vol. 112, 1990.

[12] *Gohar, R.*, Elastohydrodynamics, Ellis - Horwood Ltd. Publ. Chichester, 1988.

[13] *Glovnea, R.P.*, Efecte elastohidrodinamice în transmisii cu roţi dinţate, Teză de doctorat, Universitatea din Suceava, 1996.

# Calibrator pentru termorezistenţe din platină folosite în contoarele de energie termică

*Monica ION* [*])
*Ion ASAVINEI* [**])

**Abstract**: *The paper presents an apparatus designed to be used for the metrological verification of platinum thermoresistances associated with thermal energy meters and for thermoresistances coupling. The apparatus may also be used to measure temperature within the range (20...200)° C.*

**Résumé**: *L'article présente un appareil pour la vérification métrologique des thermorésistances á platine utilisées dans les compteurs d'énergie thermique et pour l'accouplement des thermorésistances á platine. L'appareil peut être aussi utilisé pour le mesurage de la température dans l'interval (20...200)° C.*

## 1 Introducere

Contorul de energie termică are trei subansamble esenţiale: contorul de debit, două termorezistenţe şi blocul de calcul. Erorile de măsurare tolerate ale acestor contoare sunt prescrise în normative internaţionale, cele mai importante fiind recomandarea O.I.M.L. R75 şi standardul european (proiect ) EN 1431-1. Documentul O.I.M.L prevede posibilitatea verificării contoarelor de energie termică în două variante.

Prima variantă, implică testarea contorului în ansamblul său.

A doua variantă constă în testarea separată a contorului de debit şi a subansamblului format din blocul de calcul şi perechea traductoarelor de temperatură. In acest caz, eroarea de măsurare a contorului de energie termică se determină prin însumarea celor două erori de măsurare constatate pentru debit respectiv pentru blocul de calcul împreună cu perechea traductoarelor de tremperatură. Această variantă este tot mai mult preferată azi faţă de încercarea în ansamblu.

Proiectul de standard european EN 1434-1 introduce pentru calculul erorilor maxime admise ale subansamblelor anumite relaţii. Astfel, pentru perechea traductoarelor de temperatură, eroarea maximă admisă, este: $\pm (0{,}05+3\Delta\theta)$ %, unde $\Delta\theta$ este diferenţa de temperatură între conductele de tur şi de retur. Această condiţie este destul de severă şi, ca urmare, caracteristicile celor două termorezistenţe şi, în particular, împerecherea lor trebuie determinate cu o aparatură de înaltă performanţă.

Cu ajutorul calibratorului descris în acest articol se poate verifica împerecherea celor doua termorezistenţe, acest echipament putând fi utilizat şi pentru compararea unei termorezistenţe necunoscute cu o termorezistenţă etalon.

Fig. 1 Calibrator pentru termorezistenţe din Pt

[*]) Institutul Naţional de Metrologie, sos Vitan Bârzeşti nr.11, sector 4
[**]) Institutul Naţional de Metrologie, sos Vitan Bârzeşti nr.11, sector 4

## 2 Construcţia şi funcţionarea calibratorului

Laboratorul de Temperaturi al INM, în colaborare cu firma Quality Electronic Design din Bucureşti, au conceput un calibrator alcatuit dintr-un termometru electronic etalon, şi un cuptor bloc-metal, cu reglare automată a temperaturii (fig.1). Calibratorul este destinat în principal pentru verificarea împerecherii termorezistenţelor folosite în contoarele de energie termică. El poate fi utilizat şi în orice aplicaţie care necesită menţinerea unei temperaturi stabile şi exacte.

Aparatul este echipat cu o termorezistenţă Pt 100, calibrată în domeniul 0°C...200°C. El poate fi configurat de către utilizator şi pentru o termorezistenţă proprie. Configurarea se face de la tastatura aparatului, introducând parametrii termorezistenţei conform SIT-90.

Termometrul este prevăzut cu trei canale de măsurare. Canalul ale cărui borne se află pe panoul frontal este destinat termorezistenţei calibrate (Pt1). Pentru acest canal se poate afişa temperatura şi rezistenţa termorezistenţei. Celelalte două canale (Pt2 şi Pt3) au bornele situate pe panoul din spate. Aparatul poate afişa temperatura şi diferenţa faţă de temperatura măsurată cu termorezistenţa calibrată.

Panoul frontal mai cuprinde un afişaj alfanumeric cu cristale lichide, o tastatură numerică (0...9, intrare) şi o tastatură funcţională: sus, jos, C (configurare), AC (configurare auxiliară).

Pe panoul spate se mai află elemente de alimentare, inclusiv comutatorul de reţea şi conectorul interfeţei seriale (RS 232 C), care permite citirea rezultatelor cu calculatorul.

## 3 Termometrul electronic digital

Tensiunile de la bornele de intrare sunt filtrate cu trei filtre LC, urmărind rejecţia semnalelor perturbatoare atât pe mod comun cât şi pe mod diferenţial.

Multiplexarea intrărilor este realizată cu un circuit CMOS (MC 14052), care asigură şi protecţia circuitelor electronice în cazul conectării greşite a intrărilor.

Convertorul tensiune - curent generează curentul care va fi măsurat de convertor după relaţia:

$$I_0 = \frac{U_i}{R_{et}} \qquad (1)$$

Deoarece semnalele de intrare sunt bipolare, iar erorile convertorului sunt critice pentru precizia aparatului, realizarea fizică este pe o plăcuţă separată de circuit imprimat, iar alimentarea lui este flotantă faţă de restul termometrului. Convertorul este un amplificator cu trei căi de semnal, folosind o combinaţie de amplificatoare operaţionale cu zgomot mic şi un circuit discret cu tanzistoare, care elimină modul comun de pe intrarea acestor amplificatoare operaţionale.

În acest mod, convertorul practic nu are erori detectablile datorate variaţiei tensiunii de intrare, ci numai erori statice de offset, care sunt eliminate prin inversarea sensului curentului la măsurare.

Convertorul σ/δ lucrează cu primele 4 integrate putând asigura prin filtrare numerică rezoluţia teoretică de 0,1 ppm în 800 perioade de tact.

Deoarece câstigul amplificatorului nu putea fi asigurat cu un singur etaj, integratorul este echipat cu două amplificatoare operaţionale, unul de zgomot mic şi celălat de viteză mare.

Cele patru condensatoare din integrator sunt cu poliester, care are rezistenţa de izolaţie mare şi absorbţie dielectrică scăzută.

Curentul de referinţă este comutat cu 4 JFET cu capacităţi parazite mici conectate în punte pentru echilibrarea erorilor introduse de impulsurile de comandă. Simetria foarte bună a comenzilor este asigurată cu un circuit HC (74HC 74).

Curentul este însumat cu curentul de referinţă comutat la intrarea de referinţă a convertorului tensiune -curent, pentru a se evita introducerea spike-urilor de comutaţie direct în intrarea integratorului.

Ieşirea integratorului este citită cu un dublu comparator (LM 393), din care este validată o singură secţiune, în funcţie de sensul real al curentului de test. Un etaj cu tranzistoare asigură un consum constant indiferent de sensul curentului de test, pentru îmbunătăţirea rejecţiei alimentării. Amplificatorul de anulare forţează tensiunea "rece" a intrării la valoare nulă. El are o structură identică cu a amplificatorului din integrator pentru asigurarea câştigului necesar. Alimentarea este flotantă pentru a permite

oglindirea cu precizie a curentului de test în curentul de referinţă al convertorului σ/δ.

Referinţa de curent este realizată dintr-o referinţă de tensiune care foloseşte două diode stabilizatoare de zgomot mic şi un convertor tensiune-curent cu tranzistor JFET şi un amplificator operaţional de precizie, pentru micşorarea zgomotului şi mărirea impedanţei de ieşire. Ea este alimentată flotant, pentru a fi disponibile ambele capete şi permite inversarea sensului curentului printr-o comandă izolată de un optocuplor.

Sursa de alimentare cu ieşiri flotante este un convertor C.C.-C.C. în contratimp care funcţionează pe frecvenţa de tact a convertorului. În acest fel, zgomotele de comutare sunt anulate, şi în plus nu mai este necesară transmiterea separată a tactului spre convertor.

Comutaţiile între partea analogică şi cea digitală sunt izolate prin optocuploare. Semnalul de ieşire al convertorului este resincronizat cu un bistabil pentru reducerea probabilităţii erorilor.

Principalele caracteristici ale aparatului sunt urmatoarele:

- Număr de canale: 3
- Tipul măsurării: 4 puncte
- Mărimi afişate:
  - temperatura (°C)
  - rezistenţa senzorului (numai canalul 1)
  - diferenţa de temperatură dintre canalele 2/3 şi canalul 1
- Domeniul de bază: 0°C...200 °C
- Rezoluţia: 0,01°C
- Incertitudinea de măsurare la temperatura ambiantă de referinţă (23 °C): 0,02
- Incertitudinea suplimentară: 0,002 °C / °C
- Dimensiuni de gabarit:212 x 68 x 250 mm
- Masa: 2,5 kg

Condiţiile nominale de utilizare sunt:

- Temperatura ambiantă : (5...40)°C
- Umiditatea relativă a aerului:
  - max. 80 % la 23°C
  - max. 50 % la 40°C
- Presiunea atmosferică: 80... 106 kPa
- Alimentarea: (220 V ± 10 %) ; (50 Hz ± 5 %)

Bornele notate cu *I* sunt pentru generarea curentului prin termorezistenţă. Bornele notate cu *V* sunt pentru măsurarea tensiunii. Pentru măsurarea în patru puncte a termorezistenţei, fiecare capăt al ei are două fire, unul de curent şi altul de tensiune.

Aparatul poate afişa:

- temperatura în grade Celsius măsurată cu oricare dintre termorezistenţe;
- diferenţa dintre temperatura măsurată cu termorezistenţele de pe panoul spate şi temperatura măsurată cu termorezistenţa de pe panoul din faţă, în grade Celsius:
- rezistenţa în ohmi a termorezistenţei de pe panoul faţă.

Trecerea de la o afişare la alta se face cu ajutorul tastelor "sus" şi "jos": tasta "sus" selectează termorezistenţa al cărei rezultat se afişează iar tasta "jos" selectează mărimea afişată.

Constantele de liniarizare şi $R_0$ permit configurarea aparatului conform caracteristicilor termorezistenţei. Ele intră în calculul temperaturii după următoarele formule:

$$R_t/R_0=1+A_t+B_{t2} \quad \text{pentru } t \geq 0 \qquad (2)$$

$$R_t/R_0=1+At+Bt^2+C(T\text{-}100)t^3 \quad \text{pentru } t \leq 0 \qquad (3)$$

unde:

$t$ temperatura termorezistenţei în °C;

$R_t$ rezistenţa la temperatura t

**4 Sursa pentru incălzirea cuptorului**

Este o sursă în comutaţie comandată. Pentru asigurarea gamei de reglaj este folosită o topologie "fly-back" cu un singur comutator de putere.

Pentru minimizarea pierderilor în comutatorul de putere, este folosită o combinaţie de două tranzistoare MOS şi unul bipolar, întrunind avantajele celor două tipuri de dispozitive la un preţ minimal şi fără complicarea comenzii. Sursa este comandată cu un circuit integrat specializat (TDA 1060) care asigură toate funcţiunile şi protecţia căi aferente părţii de comutaţie.

În partea izolată de reţea a sursei se află regulatorul de curent comandat prin intermediul unui DAC de 12 biti (MMC 758). Reacţia spre partea izolată este transmisă prin optocuplor. Soluţia de stabilizare a curentului de ieşire asigură protecţia inerentă la scurtcircuit şi simplifică stabilizarea circuitului.

Sursa este protejată termic în primar printr-un traductor de temperatură amplasat pe radiatorul tranzistoarelor de putere. Alimentarea părţii de comanda a comutaţiei, a stabilizatorului de curent, a termometrului şi a părţii digitale de comandă/afişare este realizată clasic, cu

transformator de rețea şi stabilizatoare liniare unde este cazul.

Cuptorul bloc-metal are următoarele caracteristici:

- Interval de lucru: 50...200°C
- Stablitate: 0,1° C
- Uniformitate: 0,05°C
- Adâncime de imersie: 200mm
- Viteza de încălzire: aprox. 2°C/minut
- Timp de stabilizare: aprox. 40 minute

Cuptorul este prevăzut cu un sistem automat de reglare a temperaturii la orice valoare din intervalul de lucru.

Cuptorul se comandă cu ajutorul tastaturii şi a afişajului cu cristale lichide, aflat pe panoul frontal. Tastatura este compusă din blocul de taste numerice (1, 2, ...9, punct zecimal şi introducerea datei) şi patru taste functionale: *C* (cancel), *AC* (all clear), % (afişarea puterii injectate), -(afişarea variaţiei temperaturii pe minut).

Afişajul are două rânduri de câte 16 caractere. Pe primul rând se afisează temperatura comandată de către operator. Al doilea rând al afişajului dă informaţii asupra cuptorului. Dacă se apasă tasta "-" şi se menţine apăsată, în locul temperaturii curente se va afişa variaţia temperaturii pe minut, ceea ce usurează identificarea momentului în care cuptorul s-a stabilizat. Dacă se apasă tasta "%" şi se menţine apăsată, în locul temperaturii curente se va afişa, în procente, puterea injectată în cuptor pentru compensarea transferului de căldură cu mediul. Această facilitate este utilă în timpul testării şi punerii în funcţiune.

## 5 Microcalculatorul

Microcalculatorul este realizat pe baza unui circuit din familia lui Z80. Acesta are patru porturi ($P_0$...$P_3$) dintre care primele două se folosesc ca magistrală de date şi adrese pentru comanda aparatului. Semnalele utilizate în acest scop sunt:

- 20 kHz frecvenţa de achiziţie, furnizată de microcalculator;
- 10 kHz frecvenţa de sincronizare a datelor, furnizată de blocul de achiziţie;
- *K* datele furnizate de blocul de achiziţie;
- *I*/δ comanda de inversare a curentului prin termorezistenţă;
- $Pt_1$,$Pt_2$ comenzi de selectare a termorezistenţei măsurate;
- 3/4 comanda pentru măsurarea pe 3 sau 4 fire;
- LD, CK, DT semnale de programare a convertorului D/A care comandă încălzirea cuptorului.

Microcalculatorul mai cuprinde memoria de program (EPROM-ul 28C16), decodorul de adrese şi circuitul de resetare.

Microcalculatorul are următoarele funcţii:

- afişează rezultatele măsurărilor şi informaţia de configurare, prin intermediul modulului de afişare cu cristale lichide L1614;
- asigură dialogul cu operatorul prin intermediul tastaturii;
- comandă blocul de achiziţie şi preia datele de măsurare;
- comandă încălzirea cuptorului prin convertorul D/A MMC 758.

## 6 Concluzii

În urma rezultatelor experimentale obţinute cu prilejul încercărilor efectuate în cadrul laboratorului de temperaturi al INM, calibratorul a obţinut aprobare de model, de la Biroul Român de Metrologie Legală.

Deşi calibratorul este destinat în special pentru verificarea metrologică a termometrelor cu rezistenţă din platină folosite în contoarele de energie termică, precum şi a preciziei de împerechere a acestora, el poate fi utilizat şi pentru etalonarea / verificarea mijloacelor de maăurare a temperaturii în intervalul 20...200°C (termometre, traductoare).

Intervalul de lucru a ansamblului calibrator-cuptor bloc metal poate fi extins până la 400°C.

## *BIBLIOGRAFIE*


[1] *Berrry, R.J.*, Effect of Pt oxidation on Pt Rezistance Thermometry; Metrologia 16/1980, 117-126

[2] *Macarino, P., Dematteis, R., Gallorini, M.* and *Rizzio, E.*, Contamination of Platinum Resistance Termometres at High Temperature Trough Their Silica Sheaths, Metrologia 26/1989, 175-181

[3] *McLaren, E.H.* and *MurdocK, EG* (1966): Radiation Effects In Precision Resistance Thermometry; Can. J.Phys 44/1966, 2631-2659

[4] *Riddle, J.L., Furukawa, G.T.* and *Plumb, H.H.*: Platinum Resistance Thermometry NBS Monograph 126/1973

[5] *Horia Mihai Motit*, Tendinţe pe plan mondial privind caracterizarea preciziei contoarelor de energie termică, Instrumentaţia, 2/96

[6] *** Professional Comparison Calibrators ISOTECH, REFERENCE MANUAL FOR TEMPERATURE PRODUCTS AND SERVICES 1/1995

## AU APĂRUT:

I. Bostan
**Transmisii planetere, precesionale şi armonice** Lei 56000

Hermina Albert Ş.A.
**Pierderi de putere şi energie în reţele electrice** Lei 16000

Cristian Giumale
**Programare funcţională** Lei 50000

C. Dumitrş Ş.A.
**Ingineria controlului dimensional şi geometric în fabricarea maşinilor** Lei 25000

I. Conecini Ş.A.
**Calitatea energiei electrice** Lei 28000

Hütte
**Manualul inginerului. Fundamente** (tr. din lb. germană) Lei 75000

### COLECŢIA DE STANDARDE

I.R.S.
**Încercări de mediu vol. I+II** Lei 36000

I.R.S.
**Unităţi de măsură** Lei 22000

I.R.S.
**Managementul calităţii** Lei 25000

## ÎN CURS DE APARIŢIE:

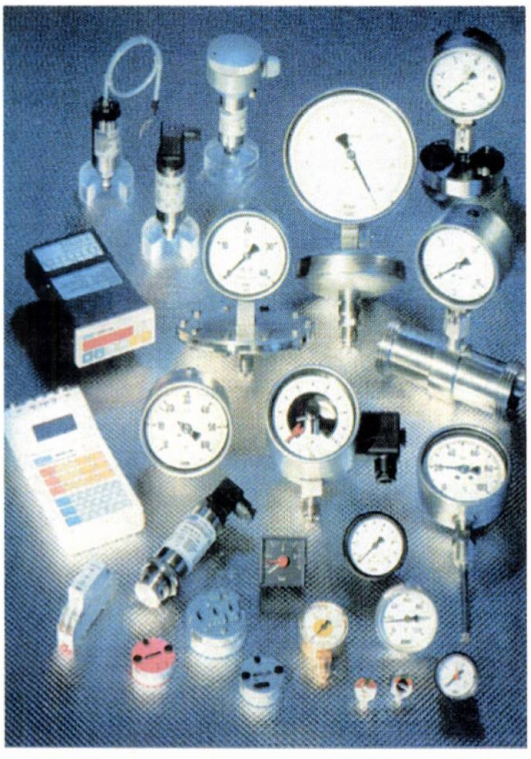
B. Froman
**Manualul calităţii. Conceptele managementului şi asigurarea calităţii** (tr. din lb. franceză) Lei 15000

H. Mitonneau
**Schimbarea managementului calităţii. 7 instrumente noi** (tr. din lb. engleză) Lei 12500

# WIKA

**Pressure and Temperature Measurement**

**The Single & The Best Source**



presiune + temperatură

- Manometre cea mai largă paletă
- Aparate electronice de măsurare a presiunii
- Separatoare de mediu
- Termometre industriale
- Măsurarea electronică a temperaturii
- Instalații de etalonare fixe și portabile pentru presiune și temperatură


**WIKA Messgerätevertrieb**
**Ursula Wiegand GesmbH & Co.**
**Perfektastraße 83, 1235 Wien, Austria**
**Tel.: 0043 1 8 69 16 31, Fax: 0043 1 8 69 16 34**
**e-mai: info@wika.at**

**WIKA - ROMÂNIA**
**Reprezentată prin *D'aMiKo***
**Birou: București, str. Brașov nr. 22, bl. Z 132, sc. A, ap. 3, sector 6, 77373**
**Tel./Fax: 01.312.99.40, tel.: 01.746.10.66**


...aparatură de la

WIKA

E8225
FF
8 000000 594563

INM Nr 4/1997

# metrologie

SUMMARY

*FLORIN ANGHEL, CONSTANTIN ILIESCU, BRÂNDUŞA PANTELIMON:*
Spectral Properties Analysis of Optical Fibers Sensors Using Fluorescence ..... 98
*VSEVOLOD BURCĂ, NICOLAE FÂNTÂNARU:*
On the Measurement of Vibrations in Buildings ..... 103
*DAN MIHAI ŞTEFĂNESCU:*
Some Aspects Regarding the Metrological Verification of Instruments with the Trisonic Wind Tunnel at INCAS - Bucharest ..... 108
*FLORIN MIHĂLCIOIU, MITICĂ CARAIANI, ERNEST KIRALY, EUGEN BÂRU:*
A Smart Measuring Device for Conductance, Specific Conductivity, Resistivity and TDS Based on Conductivity Sensors with Four Electrodes ..... 111
*MIHAI ANTONIU, NICOLAE PALAGHIU, LORELEY BUCHHOLTZER:*
Electrostatic Field Measuring Instrument with Built-in Hygrometer ..... 114
*HORIA CHIRIAC, MIHAI LOZOVAN, FLORIN RUSU, MARIA URSE:*
Device and Method for Temperature Measurement ..... 117
IN MEMORIAM ..... 119
INFORMATION ..... 122

SOMMAIRE

*FLORIN ANGHEL, CONSTANTIN ILIESCU, BRÂNDUŞA PANTELIMON:*
L'analyse des proprietés spéctrales des capteurs a fibres optiques en utilisant la fluorescence ..... 98
*VSEVOLOD BURCĂ, NICOLAE FÂNTÂNARU:*
Sur le mesurage des vibrations dans les bâtiments ..... 103
*DAN MIHAI ŞTEFĂNESCU:*
Quelques aspects concernant la vérification métrologique de l'équipment de mesure de la soufflerie trisonique d'INCAS - Bucarest ..... 108
*FLORIN MIHĂLCIOIU, MITICĂ CARAIANI, ERNEST KIRALY, EUGEN BÂRU:*
Un appareil intelligent pour le mesurage de la conductance, de la conductivité spécifique, du résistivité et du TDS basé sur des capteurs de conductivité à quatre électrodes ..... 111
*MIHAI ANTONIU, NICOLAE PALAGHIU, LORELEY BUCHHOLTZER:*
Instrument à hygromètre pour le mesurage des champs électrostatiques ..... 114
*HORIA CHIRIAC, MIHAI LOZOVAN, FLORIN RUSU, MARIA URSE:*
Dispositif et métode pour le mesurage de la température ..... 117
IN MEMORIAM ..... 119
INFORMATIONS ..... 122

REDACŢIA

INSTITUTUL NAŢIONAL DE METROLOGIE
Şos Vitan - Bârzeşti nr. 11, sector 4, tel 6342060
şi 6344030/ 191; Bucureşti,75669

ISSN 1200-546X

EDIŢIE REALIZATĂ SUB ÎNGRIJIREA

**Editurii Tehnice**

Piaţa Presei Libere 1, sector 1, Bucureşti, cod poştal 71341,
tel. 222.66.30, fax. 222.37.76

Cererile pentru abonamente vor fi adresate Editurii Tehnice, Biroul de comenzi şi desfacere,
Bucureşti, str.Oteteleşeanu nr. 1, cod poştal 70702, tel. 615.88.66
cont virament 50.03.419.2553, Trezoreria sector 1.
Costul unui abonament anual este de 44 000 lei

# METROLOGIE

Publicaţie tehnico-ştiinţifică

editată de

INSTITUTUL NAŢIONAL DE METROLOGIE

ORSZÁGOS MUSZAKI INFORMÁCIÓS KÖNYVTÁR 1883

*FLORIN ANGHEL, CONSTANTIN ILIESCU, BRÂNDUŞA PANTELIMON*: Analiza proprietăţilor spectrale ale senzorilor cu fibre optice folosind fenomenul de fluorescenţă....98
*VSEVOLOD BURCĂ, NICOLAE FÂNTÂNARU:* Măsurarea vibraţiilor unei clădiri ....103
*DAN - MIHAI ŞTEFĂNESCU:* Aspecte privind verificarea metrologică a instrumentaţiei de la sufleria trisonică din INCAS - Bucureşti....108
*FLORIAN MIHĂLCIOIU, MITICĂ CARAIANI, ERNEST KIRALY, EUGEN BÂRU*: Aparat inteligent pentru măsurarea conductanţei, conductivităţii specifice, rezistivităţii şi TDS utilizând senzori de conductivitate cu patru electrozi ....111
*MIHAI ANTONIU, NICOLAE PALAGHIU , LORELEY BUCHHOLTZER*: Un măsurător de câmp electrostatic prevăzut cu higrometru....114
*HORIA CHIRIAC, MIHAI LOZOVAN,FLORIN RUSU, MARIA URSE:* Dispozitiv şi metodă de măsurare a temperaturii....117
IN MEMORIAM....119
INFORMAŢII....122

*

* *

**Colectivul de redacţie**: dr. fiz. Dragoş Boiciuc, Viorica Burciu (secretar de redacţie), ing. chim. Mirela Buzoianu, ing. Gabriel Iordăchescu, fiz. Gheorghe Ispăşoiu, dr. ing. Aurel Millea (redactor responsabil), ing. Ionel Urdea.

METROLOGIE; vol. XLIV (Serie nouă) nr. 4/1997 pag. 97-129

# Analiza proprietăților spectrale ale senzorilor cu fibre optice folosind fenomenul de fluorescență

*Florin ANGHEL*[*]
*Constantin ILIESCU*[*]
*Brânduşa PANTELIMON*[*]

**Abstract:** *The optical fiber sensors based on fluorescence represent an attractive solution for the measurement of non-electrical quantities such as temperature, pH and concentration of chemical and biochemical species. The careful analysis of the spectral properties and compatibility of all components, based on the rapid improvement of optoelectronic devices, allows for the increase of the optical efficiency and of the sensors overall performance. The theoretical aspects are illustrated using a series of temperature sensors using the fluorescence of Cr doped crystals.*

**Résumé:** *Les capteurs à fibres optiques basés sur la fluorescence sont des solutions atractives pour le mesurage des grandeurs non-électriques comme la température, le pH et la concentration des espéces chimiques et biochimiques. L'analyse perlée de toutes les proprietés spéctrales et de la compatibilité de toutes les composants basée sur le progrés des dispositifs optoélectroniques pérmet la croissance de l'éfficacité optique et du performance globale des capteurs. Les aspects théoriques sont illustrés par une serie de capteurs de température à fibres optiques basés sur la fluorescence des cristaux dopés avec Cr.*

## 1. Introducere

Dintre fenomenele de emisie luminoasă care nu sunt pur termice, fluorescența este utilizată cu preponderență la realizarea unor senzori cu fibre optice, datorită stabilității şi timpului de dezexcitare scurt, care asigură o comportare dinamică bună.

Intensitatea emisiei fluorescente la lungimea de undă *a*, $I_a$, este [1]:

$$I_\alpha \gg I_{abs}(\lambda) h f_a G \qquad (1)$$

unde: h este randamentul cuantic al fluorescenței, $f_a$ este distribuția spectrală a spectrului de fluorescență, G este un factor geometric care ține cont de faptul că emisia se produce în toate direcțiile şi $I_{abs}(\lambda)$ este cantitatea de lumină, cu lungimea de undă $\lambda$, absorbită. $I_{abs}(\lambda)$ poate fi dedusă din legea Lambert - Beer:

$$I_{abs} = I(0) - I(d) = I(0)(1-10^{-E}) \qquad (2)$$

unde $I(0)$, $I(d)$ sunt intensitatea luminii incidente, respectiv transmise, iar $E$ este absorbanța totală a mediului. Valoarea parametrului $E$ poate fi modificată prin variația concentrației substanței fluorescente, proprietate folosită la măsurarea pH-ului sau a concentrației diverselor substanțe chimice şi biochimice [2,3].

Fluorescența a fost utilizată şi la realizarea de senzori cu fibre optice de temperatură [4,5,6,7,8,9]. Proprietăți cum ar fi raportul intensităților emisiei fluorescente la lungimi de undă diferite şi constanta de timp a fluorescenței sunt, pe anumite intervale, puternic dependente de temperatură. În plus, pentru astfel de dependențe cu temperatura se observă, la multe materiale, un grad ridicat de reproductibilitate a proprietăților. Materialele fluorescente care au dat cele mai bune rezultate sunt cristalele fluorescente.

Indiferent ce parametru al fluorescenței este modulat de mărimea măsurată, funcționarea senzorilor este condiționată de nivelul intensității optice la ieşirea din secțiunea optică. La senzorii fluores-

[*] Universitatea „Politehnica" Bucureşti

cenți, randamentul optic este influențat atât de structura și geometria zonei active, cât și de proprietățile spectrale ale diverselor componente.

Diversele soluții de senzori folosind fluorescența au o structură asemănătoare, ilustrată în figura 1. Elementele componente ale senzorului sunt sursa optică, de intensitate constantă sau modulată, sonda optică, constând din fibrele optice și zona activă în care este plasat materialul fluorescent, detectorul optoelectronic și blocul de prelucrare electronică a semnalului [10,11].

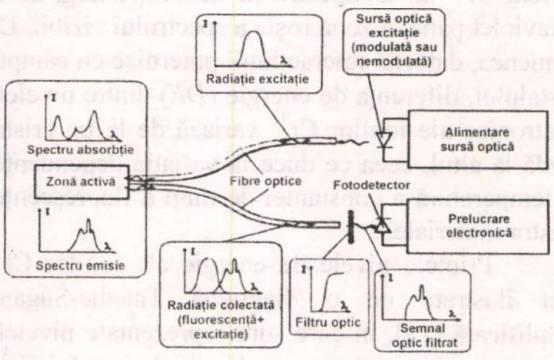



Fig. 1. Structura senzorilor cu fibre optice cu fluorescență

De cele mai multe ori, este necesară decuplarea, la nivelul detectorului optic, a radiației de excitație, în acest scop folosindu-se filtre optice adecvate.

**2 Compatibilitatea spectrală a componentelor senzorilor**

Analiza campatibilității spectrale a elementelor optice ale senzorului trebuie să se refere, în principal, la următoarele spectre:

- spectrul cursei optice, $S(\lambda)$;
- spectrul de absorbție (excitare) al substanței fluorescente, $A(\lambda)$;
- spectrul de emisie al substanței fluorescente, $E(\lambda)$;
- sensibilitatea spectrală a detectorului optic, $D(\lambda)$.

Nu trebuie omis, totuși, spectrul de absorbție al fibrei optice, $FO(\lambda)$, care poate juca un rol important în randamentul global al senzorului, atunci când se folosesc lungimi mari de fibră. Pentru analiza compatibilității spectrale a componentelor unui senzor ce folosește fenomenul de fluorescență, se definesc un număr de parametri de calitate, sub forma unor integrale de suprapunere spectrală [12].

Integrala de suprapunere a sursei, ISS, este măsură a randamentului excitării materialului fluorescent:

$$ISS = \int S(\lambda) \cdot A(\lambda) \cdot d\lambda \qquad (3)$$

Pentru o excitare eficientă a materialului fluorescent, trebuie ca spectrul de emisie al sursei, $S(\lambda)$ să corespundă unei benzi de absorbție puternică a materialului fluorescent, $A(\lambda)$.

Integrala de suprapunere a detectorului, *ISD*, este o măsură a randamentului de detecție de către fotodetector a radiației de fluorescență:

$$ISD = \int D(\lambda) \cdot E(\lambda) \cdot d\lambda \qquad (4)$$

Pentru a obține o valoare mare a parametrului *ISD*, trebuie ca sensibilitatea spectrală a fotodetectorului, $D(\lambda)$, să aibă o valoare ridicată în regiunea spectrului de emisie al materialului fluorescent, $E(\lambda)$.

Integrala de rejecție a radiației excitatoare, *IRE* este o măsură a rejecției, la nivelul fotodetectorului, a luminii excitatoare:

$$IRE = \int S(\lambda) \cdot D(\lambda) \cdot d\lambda \qquad (5)$$

În cadrul sistemelor bazate pe fluorescență, intensitatea radiației de excitație este mult mai mare decât cea a radiației de fluorescență. Recepția, la nivelul fotodetectorului, a radiației de excitație conduce la scăderea sensibilității de detecție a radiației fluorescente sau chiar la saturarea fotodetectorului. Prin urmare, un senzor performant trebuie să aibă o valoare a parametrului *IRE* cât mai mică. În cazul fotodetectorilor semiconductori, acest lucru este dificil de realizat, detectorii având sensibilitatea spectrală extinsă într-o bandă largă. Valoarea parametrului *IRE* poate fi substanțial îmbunătățită prin utilizarea unor filtre optice adecvate, plasate în fața fotodetectorului. În acest caz, integrala de rejecție a radiației excitatoare devine:

$$IRE = \int S(\lambda) \cdot D(\lambda) \cdot F(\lambda) \cdot d\lambda \qquad (6)$$

unde $F(\lambda)$ este caracteristica spectrală de transfer a filtrului optic.

Dacă senzorii folosesc lungimi mari de fibră optică, în special fibră din polimer, caracterizată de valori mari ale atenuării intrinseci, trebuie analizată și compatibilitatea spectrului de absorbție al fibrei cu spectrul sursei optice și cel de fluorescență. Spectrul de absorbție al fibrelor optice prezintă regiuni de absorbție minimă, numite ferestre de transmisie, în care transmisia se face cu pierderi minime. Se definesc, în acest caz:

- integrala de suprapunere a fibrei de emisie, *IFE*:

$$IFE = \int S(\lambda) \cdot FO(\lambda) \cdot d\lambda \qquad (7)$$

- integrala de suprapunere a fibrei de recepție, *IFR*:

$$IFR = \int E(\lambda) \cdot FO(\lambda) d\lambda \qquad (8)$$

Valorile acestor parametri trebuie să fie cât mai reduse. Valori minime pentru parametrii *IFE* și *IFR* se obțin atunci când spectrul de emisie al sursei

şi spectrul de fluorescenţă corespund ferestrelor de transmisie ale fibrei.

Un senzor optimizat din punct de vedere spectral are valorile parametrilor *ISS* şi *ISD* maxime, iar valoarea *IRE* minimă. Performanţele spectrale cumulate pot fi cuantificate de un factor de calitate global, *Q*:

$$Q = \frac{ISS \times ISD}{IRE^2} \qquad (9)$$

Dacă se calculează şi integralele de suprapunere ale fibrelor, atunci, pentru factorul de calitate, se propune expresia:

$$Q^{\sim} = \frac{ISS \times ISD}{IRE \times \sqrt{IFE \times IFR}} \qquad (10)$$

Calcularea exactă a integralelor de suprapunere spectrală este îngreunată de inexistenţa unor expresii analitice ale caracteristicilor spectrale. Acestea se determină experimental şi se prezintă sub formă de grafice.

Cunoscându-se valorile experimetale ale carcateristicilor spectrale, se pot obţine prin aproximare (tehnici de fitting) relaţii analitice (funcţii polinomiale, spline), care să descrie suficient de exact spectrele experimentale, cel puţin pe porţiuni. Aceste funcţii pot fi folosite la calcularea parametrilor de compatibilitate spectrală. Definiţiile integralelor de suprapunere spectrală, chiar fără a se calcula efectiv valorile acestora, oferă o bază de analiză a compatibilităţii spectrale a diverselor elemente ale unui senzor cu fibre optice.

## 3 Analiza spectrală a componentelor senzorilor de temperatură cu cristale dopate cu ioni de crom

La un senzor de temperatură selecţia materialului fluorescent trebuie să ţină seama de sensibilitatea de temperatură a proprietăţii fluorescenţei utilizate, dar în acelaşi timp trebuie avute în vedere o serie de considerente tehnologice, impuse de restul componentelor din cadrul senzorului. Sunt preferate materialele care au spectrul de absorbţie în domeniul vizibil şi spectrul de emisie fluorescenţă în zona roşu-infraroşu apropiat. Astfel, se pot folosi pentru excitare surse optoelectronice de tip LED, diodă superluminiscentă sau diodă laser, care emit numai în vizibil sau infraroşu, iar pentru detecţia optoelectronică, fotodiode pin sau module pin-fet. Aceste componente se remarcă prin dimensiuni reduse, cuplare eficientă la fibre, alimentare şi modulare simple, fiabilitate şi timp de viaţă îndelungat.

Proprietăţile spectrale, dar şi fizico-chimice ale cristalelor activate cu ioni de $Cr^{3+}$ le recomandă pentru utilizarea în senzori de temperatură cu fibre optice. Acestea sunt folosite pe scară largă pentru laseri cu mediu activ solid, aplicaţiile în termometria cu fibre optice fiind de dată recentă. Proprietăţile cristalelor dopate cu $Cr^{3+}$ şi în mod special proprietăţile spectrale, în general cunoscute, trebuie să fie reinterpretate din perspectiva acestor noi aplicaţii.

În reţelele ionice, ionii de $Cr^{3+}$ interacţionează puternic cu câmpul cristalului gazdă şi cu vibraţiile reţelei. Prin urmare, materialele activate cu ioni $Cr^{3+}$ au un spectru de absorbţie larg, de la ultraviolet până la zona roşie a spectrului vizibil. De asemenea, datorită interacţiunii puternice cu câmpul cristalului, diferenţa de energie (*DE*) dintre nivelele electronice ale ionilor $Cr^{3+}$ variază de la un cristal gazdă la altul, ceea ce duce la variaţia dependenţei de temperatură a constantei de timp a fluorescenţei acestor materiale.

Primele nivele de energie ale ionilor $Cr^{3+}$ sunt ilustrate de o diagramă Tanabe-Sugano simplificată [13], în care sunt reprezentate nivelele de energie electronice normalizate ale ionului $Cr^{3+}$, *E/B*, pentru stările excitate $^2E$ şi $^4T_2$, funcţie de intensitatea câmpului electric al cristalului gazdă $D_q/B$, în care se află aceştia plasaţi. În figura 2 se prezintă diagramele Tanabe-Sugano pentru un ion $Cr^{3+}$ într-un câmp de cristal octoedric, de tipul câmpului predominant în care se află ionii de $Cr^{3+}$ în cristalele ce vor fi analizate.

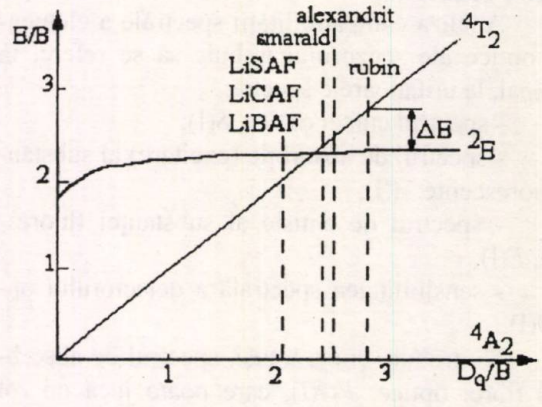



Fig. 2. Diagrama Tanabe-Sugano simplificată pentru $Cr^{3+}$

Starea de bază este, indiferent de intensitatea câmpului cristalului, singletul orbital $^4A_2$. Diferenţa de energie, D*E*, dintre primele nivele excitate ale ionilor $Cr^{3+}$:

$$DE - E(^4T_2) - E(^2E) \qquad (11)$$

este puternic dependentă de parametrul $D_q/B$, fiind pozitivă în câmpuri ale cristalului gazdă de intensitate mare ($D_q/B >> 2,3$) şi negativă în câmpuri ale

cristalului de intensitate mică ($D_q/B$<<2,3). Valoarea diferenței de energie D$E$ influențează puternic procesul de emisie fluorescentă. În câmpuri de intensitate mare, emisia este dominată de liniile înguste $R$, datorate tranziției $^2E$ ® $^4\mathbf{A}_2$. În câmpuri de intensitate mică, se produce o emisie dominantă de spectru larg, datorată tranziției preponderente $^4T_2$ ® $^4A_2$.

Din categoria cristalelor cu câmp intens fac parte rubinul, alexandritul şi smaraldul, iar în categoria cristalelor de câmp slab se pot enumera unele materiale sintetice ca $Cr^{3+}$: $LiCaAlF_6$ (LiCAF), $Cr^{3+}$: $LiSrAlF_6$ (LiSAF) [14, 15, 16] şi $Cr^{3+}$: $LiBaAlF_6$ (LiBAF) [17].

În vederea studierii unor aspecte legate de extinderea domeniului de măsurare al senzorilor cu fibre optice, s-au analizat şi realizat sonde de temperatură cu diferite cristale dopate cu ioni Cr.

Aşa cum se observă în figurile 3 şi 4, cristalele fluorescente cu câmp intens au benzi de absorbție ridicată în spectrul vizibil: 500...580 nm pentru rubin şi 525...650 nm pentru alexandrit. Pentru aceste regiuni spectrale există surse optice ieftine, compacte şi uşor de comandat, de tip LED sau diodă superluminiscentă cu lungimea de undă centrală la aproximativ 540 nm. Se pot obține, prin urmare, valori bune ale parametrului ISS fără a fi necesară utilizarea unor surse de lumină ultravioletă sau cu spectru continuu de bandă largă. De asemenea, pentru radiația de excitație se pot folosi fibre uzuale din sticlă sau plastic, pentru care se obțin valori bune ale parametrului IFE în regiunile verde-roşu ale spectrului vizibil. Practic, pentru sursa optică s-a folosit o diodă LED tip TLMP 7513, care emite în bandă verde, cu lungimea de undă centrală de 565 nm şi o lărgime a benzii de emisie de 80 nm. Intensitatea optică tipică este 300 mcd, la un curent de alimentare de 20 mA. Fibrele optice folosite sunt din polimer PMMA (polimetilmetacrilat).

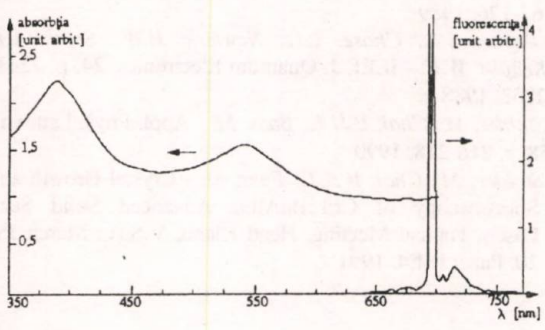



Fig. 3 Spectrele de absorbție şi de fluorescență ale rubinului la 309 K

Spectrul de emisie al cristalelor dopate cu ioni de crom cu câmp intens, şi în special emisia principală a liniilor $R$, este tot în regiunea vizibilă: 693,8 nm şi 695,3 nm pentru rubin la 309 K şi 680,4 şi 681,5 nm pentru alexandrit la 300 K. În această regiune, detectorii optoelectronici cu siliciu uzuali, de tip diodă pin, au o sensibilitate foarte bună, conducând la obținerea unor valori mari ale parametrului ISD. Fotodioda folosită, BPX 65, are la lungimea de undă a liniilor $R$ ale rubinului, $\lambda_R \cong 694$ nm, sensibilitatea spectra F(694) ≅ 0,45, iar lungimea de undă de emisie centrală a sursei optice, $l_S$ = 565 nm, F(565) ≅ 0,34.

Referitor la valoarea IRE se observă că spectrul de emisie fluorescentă al cristalelor este deplasat față de regiunea cu absorbție importantă, în care se face excitarea cristalului. Acest fapt permite rejecția radiației de excitație. Întrucât sensibilitatea spectrală a fotodiodelor utilizate este extins în toată regiunea vizibilă, se impune, în scopul obținerii unei rejecții bune a radiației de excitație, utilizarea unui filtru optic trece-sus, plasat în fața detectorului. Rezultate bune s-au obținut prin folosirea unui filtru RG 665.

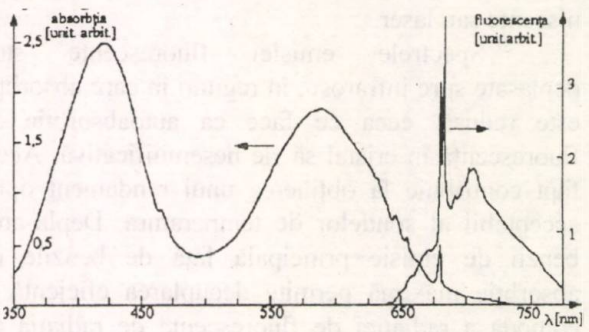



Fig. 4 Spectrele de absorbție şi fluorescență ale alexandritului la 300 K

Cristalele dopate cu ioni de crom cu câmp slab, sintetizate recent au, de asemenea, perspective bune de utilizare în aplicații de termometrie optică. Un astfel de exemplu îl reprezintă cristalul LiCaF, cu diferite concentrații de ioni de Cr. În figura 5 se prezintă spectrele de absorbție şi emisie ale cristalului.

Pentru realizarea unui senzor cu sondă cu

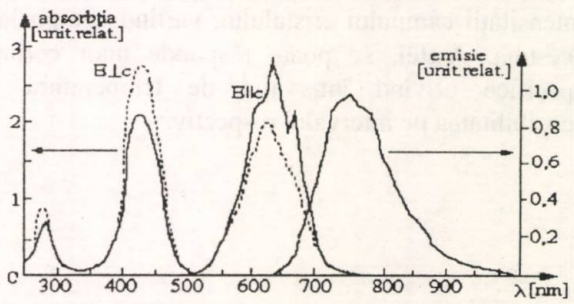



Fig. 5 Spectrele de absorbție şi de fluorescență ale cristalului LiCaF

LiCaF s-a folosit, pentru sursa optică, un LED din ultima generație, tip HLMT-CLOO (AlInGaP) cu lungimea de undă centrală 594 nm (ambră), lărgimea benzii de emisie 8 nm la $0,5I_{max}$ și intensitatea 8300 mcd la 20 mA. Se remarcă intensitatea optică mare, care permite o excitare eficientă a cristalului. Fibrele optice folosite pentru sondă sunt din sticlă cu diametru de 0,6 mm. Detectorul și filtru optic sunt aceleași ca și la senzorii cu rubin și alexandrit.

## 4 Concluzii

Proprietățile spectroscopice ale cristalelor dopate cu ioni de $Cr^{3+}$ fac ca aceste materiale să fie indicate pentru aplicațiile de termometrie în general și în mod special prin utilizarea dependenței de temperatură a constantei de timp a fluorescenței.

Se remarcă faptul că aceste cristale prezintă un spectru larg de absorbție, extins în general de la ultraviolet până în regiunea roșie a spectrului vizibil, cu benzi de absorbție puternice în anumite zone ale spectrului vizibil. Acest fapt permite folosirea unor surse optice ieftine și compacte, de tipul diodelor electroluminiscente, superluminiscente sau laser.

Spectrele emisiei fluorescente sunt deplasate spre infraroșu, în regiuni în care absorbția este redusă, ceea ce face ca autoabsorbția de fluorescență în cristal să fie nesemnificativă. Acest fapt contribuie la obținerea unui randament optic acceptabil al sondelor de temperatură. Deplasarea benzii de emisie principală față de benzile de absorbție maximă permite decuplarea eficientă și comodă a radiației de fluorescență de radiația de excitare, prin utilizarea unor filtre optice trece-sus adecvate.

Datorită interacției puternice dintre ionul $Cr^{3+}$ și câmpul cristalului, diferența de energie dintre nivelele electronice ale ionului de $Cr^{3+}$ variază de la un cristal gazdă la altul. Acest fapt duce la variația dependenței de temperatură a constantei de timp a fluorescenței materialelor dopate cu ioni $Cr^{3+}$. Dependența de temperatură a fluorescenței este reproductibilă și poate fi controlată prin modificarea intensității câmpului cristalului, variind compoziția acestuia. Astfel, se poate răspunde unor cerințe specifice privind intervalul de temperatură și sensibilitatea pe intervalul respectiv.

**Mențiune**

O parte a cercetărilor prezentate în această lucrare s-au desfășurat în cadrul Grantului Academiei Române 687/1997.

*BIBLIOGRAFIE*

[1] *Gopel, W., Jones, T.A., Kleitz M., Lundstrom, J., Seiyama, T.* (ed) - Sensors - A Comprehensive Survey, vol. 2, Chemical and Biochemical Sensors, Part I V C H Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1991

[2] *Smith, A.M.* - Technology overview: optical fibre biological and chemical sensors, Proceeding of Instrument Science and Technology Group of the Institute of Phisics workshop on Fibre Optic Sensors, July 1987, Glasgow, p, 23-29, 1987

[3] *Gopel, W., Hesse, J., Zemel, N.J.*: Sensors- A Comprehensive Survey, vol. 3 - Chemical and Biochemical Sensors, part 2, V C H Verlagsgesellschaft, Weinhaim, 1992

[4] *Wickensheim, K.A., Heineman, S., Tran, H.N., Sun, M.H.* - Proc. Digitech '85, Boston, Proc ISA paper 85-0072, p. 87-94, 1985

[5] *Grattan, K.T.V., Selli, R.K., Palmer, A.W.* - Ruby decay-time fluorescence thermometer in a fibre optic configuration, Rev. Sci. Instrum., vol. 58, no. 8, p. 1328-1335, 1988

[6] *Alves, R.V., Christal, J., Sun, M., Wickersheim, K.A.* - Adr. Instrum. 38, p. 925, 1983

[7] *Sholes, R.R., Small, J.Gr.* - Rev. Sci. Instrum. vol. 51, p. 882, 1980

[8] *Bosselmann, T., Reule, A., Schröder, J.* - Proc. SPIE 514, p. 151, 1984

[9] *Grattan, K.T.V., Palmer, A.W.* - Rev. Sci. Instrum., vol. 56, p. 1784, 1985

[10] *Iliescu, C., Anghel, F., Pantelimon, B.* - Senzor de temperatură cu fibre optice, Metrologia, no. 1, 1994

[11] *Anghel, F., Iliescu, C., Grattan, K.T.V., Zhang, Z., Palmer, A.W.*, Fluorescent-based lifetime measurement thermometer for use at subroom temperatures (200-300 K), Rev. Sci Instrum., vol. 66, p. 2611, 1995

[12] *Biswas, D.R., Raychandhuni, S.* - Optomechanical properties of long-length nickelcoated optical fibres, Proceedings of the 3rd Int. Conf. on Optical Fibre Sensors, San Diego, p. 124-125, 1985

[13] *Zhang, Z., Grattan, K.T.V., Palmer, A.W.* - Fiber optic thermometry based on fluorescence lifetimes of $Cr^{3+}$ doped materials, SPIE vol. 2121 Measurement Technology and Intelligent Instruments, p. 476-482, 1993

[14] *Payne, S.A., Chase, L.L., Wilke, G.D.* - J. Lumm, 44, p. 167-176, 1989

[15] *Payne, S.A., Chase, L.L., Newkirk, H.W., Smith, L.K Krupke, W.F.* - IEEE J. Quantum Electronics, 24, p. 2243-2252, 1988

[16] *Stalder, M., Chai, B.H.T., Bass, M.* - Appl. Phys. Lett, vol. 58, p. 216-218, 1990

[17] *Stalder, M., Chai, B.H.T., Bass, M.* - Crystal Growth and Spectroscopy of Cr:LiBaAlF$_6$, Advanced Solid State Lasers Topical Meeting, Head Island, V.S.A., March 18-20, Paper ME4, 1991

# Măsurarea vibraţiilor unei clădiri

*Vsevolod BURCĂ,*
*Nicolae FÂNTÂNARU**

**Abstract:** *The paper presents the results of vibrations recording at various levels in a three floor building (ground floor + 2 upper floors) using a test machine (installed at the ground floor level) with a Hottinger type B3 seismic transducer associated with a measuring amplifier and a loop oscillograph. Measurements were made in various operation modes of the pulsator, including the vacuum operating mode, recording the displacement amplitude, the velocity and the acceleration, the frequency and pulsation of the vibrations generated into the building structure by the pulsator. The measured values were compared with the admissible ones and conclusions about the building behavior were drawn.*

**Résumé:** *L'article présente les résultats obtenus dans l'enrégistrement des vibrations aux divers niveaux d'un bâtiment à trois niveaux (rez-de-chaussée + deux étages) en utilisant une machine d'essai à pulsateur (installée au rez-de-chaussée du bâtiment) avec un capteur sismique Hottinger type B3 associé à un amplificateur de mesurage et à un oscillographe aux boucles. On a fait des mesurages aux divers régimes de fonctionnement du pulsateur, inclusivement dans son marche en vide et on a enrégistré l'amplitude du déplacement, la vitesse et l'acceleration, la fréquence et la pulsation des vibrations sur la structure du bâtiment. Les valeurs mesurées ont été confrontées avec celles admissible, avec des conclusions sur le comportement de la construction.*

## 1 Datele clădirii, datele pulsatorului

La parterul unei clădiri P + 2 situată în incinta unei uzine constructoare de maşini, s-a instalat maşina de încercat universală prevăzută cu pulsator hidraulic tip ZD 40 Pu fabricaţie WPM Leipzig nr. 282 / 71 /73, destinată determinării rezistenţei la oboseală a materialelor.

Clădirea este o construcţie obişnuită, cum se află de obicei în cadrul uzinelor mecanice, având la parter laboratoare, la etajul 1 birouri administrative şi la etajul 2 atelier de proiectare.

Maşina de încercat este prevăzută cu scări de 40; 100; 200 şi 400 kN, cu valoarea diviziunii respectiv de 20; 50; 100 şi 200 daN pentru încercări statice şi dinamice. În regim static, maşina permite încercări cu forţe de până la 400 kN.

În regim dinamic, maşina ZD 40 Pu asigură exercitarea unor cicluri de tracţiune pulsantă sau de compresiune pulsantă cu forţa maximă $F_{max} \leq 200$ kN la o frecvenţă de solicitare de (500 ... 1500) cicl./min.

Încercările la oboseală urmând a fi efectuate cu cicluri de solicitare având forţa maximă $F_{max}$ = (17...200) kN şi forţa minimă $F_{min}$ = (12...70) kN s-a verificat atât exactitatea acestor cicluri [5] cât şi mărimea vibraţiilor produse în următoarele zone ale clădirii:

- pe fundaţia maşinii de încercat;
- în sala pulsatorului, la distanţa de 2 m în faţa maşinii de încercat;
- la etajul 1 al clădirii, în biroul administrativ;
- la etajul 2 al clădirii, în atelierul de proiectare.

La etajul 1, în sala mare cu biroul administrativ, măsurarea vibraţiilor s-a efectuat în două locuri anume;

- poziţia 1 - pe padiment în centru;
- poziţia 2 - pe padiment la marginea dreaptă.

Dacă nu s-a specificat altceva, toate măsurările s-au executat pe padiment în centrul încăperii menţionate, înregistrându-se numai vibraţiile pe verticală, considerate ca relevante. În timpul măsurărilor , în locul epruvetei, în maşina de încercat a fost montată o doză tensometrică de compresiune de 1 MN cu rigiditatea de $4 \times 10^6$ daN/cm. Pentru scurtă durată, în unele cazuri specificate în tabelul 1 (nr. crt. 5 şi 6) s-a depăşit forţa maximă admisă luându-se $F_{max}$ = 220 kN pentru depistarea comportării în cazuri limită, ce pot fi atinse accidental. Nu s-a făcut determinarea frecvenţei proprii de oscilaţie a clădirii.

* Institutul Naţional de Metrologie, Laboratorul Forţe- Durităţi Timişoara, str. Crizantemelor nr. 64

## 2 Scopul urmărit, obiective şi echipament de măsurare/înregistrare

Lucrarea şi-a propus două obiective:

*a*) Determinarea vibraţiilor produse de funcţionarea pulsatorului la fiecare nivel al clădirii, în zonele menţionate mai sus;

*b*) Analiza influenţei intensităţii vibraţiilor asupra clădirii şi condiţiilor de lucru.

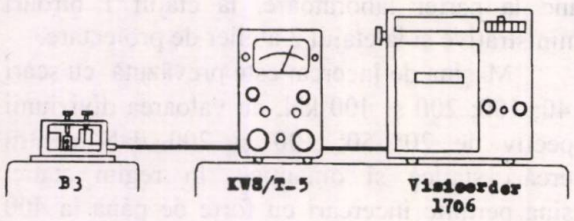



Fig. 1 Echipament de măsurare / înregistrare a vibraţiilor

Pentru măsurarea / înregistrarea parametrilor vibraţiilor s-a utilizat echipamentul (fig. 1) format din [4; 1; 2; 3]:

- captor de vibraţii Hottinger tip B3;
- amplificator de măsurare Hottinger tip KWS/T -5;
- oscilograf cu bucle Honeywell tip Visicorder 1706.

Captorul de vibraţii tip B3 are următoarele date tehnice:

- domeniul de lucru al frecvenţei $f$ = (7...100)Hz;
- amplitudinea maximă admisă a oscilaţiei (deplasării) $a = \pm 2$ mm;
- frecvenţa proprie $f_0 = 5$ Hz.

Captorul de vibraţii $B_3$ este construit după principiul seismic, adică este format dintr-o masă (greutate) atârnată cu un arc de carcasă. Carcasa se fixează pe obiectul de cercetat şi vibrează solidar cu acesta. Masa are tendinţa ca în baza momentului său de inerţie să persiste în starea de repaus. Printr-o dimensionare potrivită a masei şi a arcului şi printr-o amortizare electromagnetică se ajunge ca mişcarea relativă masă / carcasă să fie proporţională cu amplitudinea oscilaţiei în domeniul de frecvenţe peste frecvenţa proprie. Această mişcarea relativă se măsoară cu un traductor inductiv de cursă. Captorul este ajustat la un factor de amortizare D = 0,6...0,7 şi un raport $f / f_0 \geq 1{,}4$ unde $f$ este frecvenţa de excitaţie şi $f_0$ frecvenţa proprie, astfel că la $f_0$ = 5Hz, captorul măsoară în condiţii optime amplitudini ale oscilaţiilor de peste 7 Hz fiind deci potrivit pentru măsurarea vibraţiilor la clădiri şi fundaţii de maşini .

Aparatul KWS/T - 5 este un amplificator de măsurare cu frecvenţă purtătoare de 5 kHz prevăzut cu ieşire pentru osciloscop/oscilograf la măsurări dinamice şi asigurând semnale etalon statice de amplitudine cunoscută, necesare prelucrării oscilogramelor [1; 2; 3; 4].

Aparatul Visicorder tip 1706 este un oscilograf cu şase bucle de măsurare, cu bandă de înregistrate de lăţime 12 cm şi viteză de înregistrare de (6...800) mm/s. Baza de timp poate fi marcată prin semnale de 0,1 sau 1 s.

## 3 Rezultatele obţinute

Datele experimentale s-au concretizat în 30 de oscilograme conţinând informaţii asupra frecvenţei şi amplitudinii deplasării vibraţiilor produse, din care oscilogramele nr.1;19 şi 30 au servit la înregistrarea semnalelor etalon statice necesare prelucrării rezultatelor potrivit metodologiei cunoscute.

Rezultatele obţinute prin înregistrarea vibraţiilor produse de pulsatorul ZD 40 Pu

Tabelul 1

| Nr. crt. | Locul în care s-au măsurat vibraţiile | Regimul de lucru al pulsatorului | | | Valori ale vibraţiilor | | | | Oscilograma nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Amplitudinea | | | |
| | | Forţa | | Frecvenţa | Frecvenţa | deplasării | | vitezei | |
| | | $F_{max}$ | $F_{min}$ | | | Măsurată | Admisă | Calculată | |
| | | maximă | minimă | $n$ | $f$ | $a$ | $a_{max}$ | $v$ | |
| | | kN | | cicl/min | (Hz) | μm | | cm/s | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | Pe fundaţia maşinii de încercat | 200 | 40 | 1000 | 18 | 8,4<br>9,6<br>10,4 | 60 | $0{,}95\times10^{-1}$<br>$1{,}09\times10^{-1}$<br>$1{,}18\times10^{-1}$ | 6<br>4<br>5 |
| 2 | În sala pulsatorului, la distanţa de 2 m în faţa maşinii de încercat | 17 | 12 | 1000 | 18 | 3,8 | 18 | $0{,}43\times10^{-1}$ | 2 |
| 3 | La etajul 1 al clădirii, în biroul administrativ | 17 | 12 | 1000 | 17 | 4,8 | 18 | $0{,}51\times10^{-1}$ | 3 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | La etajul 2 al clădirii, în sala proiectanţilor | 17<br>150 | 12<br>50 | 1000<br>1200 | 18<br>23 | 2,6<br>1,12 | 18 | $0,29\times10^{-1}$<br>$0,17\times10^{-1}$ | 7<br>8 |
| 5 | La etajul 1 al clădirii, în dreptul unei grinzi din structura de rezistenţă a clădirii | 170<br>220<br>170<br>220 | 70<br>20<br>70<br>20 | 500<br>500<br>700<br>700 | 10<br>10<br>11<br>12 | 1,16<br>1,6<br>1,12<br>2,08 | 40 | $0,075\times10^{-1}$<br>$0,10\times10^{-1}$<br>$0,076\times10^{-1}$<br>$0,16\times10^{-1}$ | 9<br>10<br>11<br>12 |
| 6 | La etajul 1 al clădirii în sala mare - birou administrativ, poziţia 1 | 170<br>220<br>170<br>220<br>170<br>220 | 70<br>20<br>70<br>20<br>70<br>20 | 900<br>900<br>1100<br>1100<br>1300<br>1300 | 15<br>15<br>18<br>18<br>22<br>22 | 3<br>3,8<br>1,6<br>3,2<br>1,78<br>2,3 | 25<br><br>18 | $0,28\times10^{-1}$<br>$0,36\times10^{-1}$<br>$0,18\times10^{-1}$<br>$0,36\times10^{-1}$<br>$0,25\times10^{-1}$<br>$0,32\times10^{-1}$ | 13<br>14<br>15<br>16<br>17<br>18 |
| 7 | La etajul 1 al clădirii, în sala mare - birou administrativ, poziţia 1, pulsator la mers în gol | -<br>-<br>-<br>- | -<br>-<br>-<br>- | 1300<br>1000<br>1200<br>1250 | 22<br>22<br>21<br>24 | 5,6<br>2,2<br>5,2<br>5,4 | <br><br>18<br> | $0,77\times10^{-1}$<br>$0,3\times10^{-1}$<br>$0,7\times10^{-1}$<br>$0,81\times10^{-1}$ | 20<br>21<br>22<br>23 |
| 8 | La etajul 1 al clădirii, în sala mare-birou administrativ, poziţia 2 | -<br>-<br>-<br>-<br>- | -<br>-<br>-<br>-<br>- | 1300<br>1350<br>1400<br>1450<br>1500 | 24<br>25<br>25<br>26<br>22 | 3,4<br>4<br>4,4<br>5,2<br>4 | 18<br><br><br><br> | $0,51\times10^{-1}$<br>$0,63\times10^{-1}$<br>$0,69\times10^{-1}$<br>$0,85\times10^{-1}$<br>$0,55\times10^{-1}$ | 24<br>25<br>26<br>27<br>28 |
| 9 | Idem | 170 | 70 | 1300 | 22 | 12 | 18 | $1,63\times10^{-1}$ | 29 |

În tabelul 1, rezultatele obţinute sunt extrase din oscilograme la regimurile de lucru menţionate. Frecvenţa $f$ şi amplitudinea deplasării $a$ s-au măsurat direct din oscilograme, iar amplitudinea vitezei $v$ s-a calculat cu relaţia [1]:

$$v = a\omega = a \times 2\pi f \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

unde:

$a$ amplitudinea deplasării în μm

$f$ frecvenţa oscilaţiei în Hz $s^{-1}$

În tabelul 1 sunt redate şi valorile admise pentru amplitudinea deplasării şi vitezei date în literatură [1], care desigur trebuie confruntate cu datele actuale prevăzute de standardele internaţionale [6; 7; 8; 9] adoptate şi ca standarde române.

## Determinarea intensităţii vibraţiilor

Tabelul 2

| Nr. crt. | Locul în care s-au măsurat vibraţiile | Frecvenţa ciclurilor | Parametrii vibraţiilor produse | | | | | | Oscilograma nr. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Frecvenţa (Hz) | Amplitudinea deplasării | Pulsaţia | Amplitudine a acceleraţiei | Intensitatea* | | |
| | | $n$ | $f$ | $a$ | $\omega$ | $w$ | $i$ | $S$ | |
| | | cicl/min | $s^{-1}$ | μm | $s^{-1}$ | $cm/s^2$ | $cm^2/s^3$ | vibrar | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | Pe fundaţia maşinii de încercat | 1000 | 18 | 8,4-10,4 | 113,04 | 10,73-13,29 | 6,4-9,81 | 18,06-19,92 | 6; 4;5 |
| 2 | În sala pulsatorului,la 2 m în faţa maşinii de încercat | 1000 | 18 | 3,8 | 113,04 | 4,86 | 1,31 | 11,17 | 2 |
| 3 | La etajul 1, în biroul administrativ | 1000 | 17 | 4,8 | 106,76 | 5,47 | 1,76 | 12,46 | 3 |
| 4 | La etajul 2, în sala proiectanţilor | 1000<br>1200 | 18<br>23 | 2,6<br>1,12 | 113,04<br>144,44 | 3,32<br>2,34 | 0,61<br>0,24 | 7,85<br>3,80 | 7<br>8 |
| 5 | La etajul 1, lângă o grindă din schelet | 500<br>700 | 10<br>11-12 | 1,16-1,6<br>1,12-2,08 | 62,8<br>69,08-75,36 | 0,46-0,63<br>0,53-1,18 | 0,02-0,04<br>0,03-012 | -<br>0,79 | 9;10;11;12 |
| 6 | La etajul 1 al clădirii, în sala mare- birou adm., poz 1 | 900<br>1100<br>1300 | 15<br>18<br>22 | 3-3,8<br>1,6-3,2<br>1,78-2,3 | 94,2<br>113,04<br>138,16 | 2,66-3,37<br>2,04-4,09<br>3,4-4,39 | 0,47-0,76<br>0,23-093<br>0,53-0,88 | 6,72-8,81<br>3,62-9,68<br>7,24-9,44 | 13;14<br>15;16;<br>17;18 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | Idem, pulsator la mers în gol | 1300 | 22 | 5,6 | 138,16 | 10,69 | 5,19 | 17,15 | 20 |
| | | 1000 | 22 | 2,2 | 138,16 | 4,2 | 0,80 | 9,03 | 21 |
| | | 1200 | 21 | 5,,2 | 131,88 | 9,04 | 3,89 | 15,9 | 22 |
| | | 1250 | 24 | 5,4 | 150,72 | 12,27 | 6,27 | 17,97 | 23 |
| 8 | La etajul 1 al clădirii, în sala mare- birou administrativ, poziția 2, la mers în gol | 1300 | 24 | 3,4 | 150,72 | 7,72 | 2,48 | 13,94 | 24 |
| | | 1350 | 25 | 4 | 157 | 9,9 | 3,92 | 15,93 | 25 |
| | | 1400 | 25 | 4,4 | 157 | 10,85 | 4,71 | 16,73 | 26 |
| | | 1450 | 26 | 5,,2 | 163,28 | 13,86 | 7,39 | 18,69 | 27 |
| | | 1500 | 22 | 4 | 138,16 | 7,64 | 2,65 | 14,23 | 28 |
| 9 | Idem, cu $F_{max}$=170 kN; $F_{min}$=70kN | 1300 | 22 | 12 | 138,16 | 22,91 | 23,86 | 23,78 | 29 |

*) Intensitatea vibrației admise $S_{max} \leq 30$ vibrar

În tabelul 2 s-au determinat parametii vibrațiilor produse pornind de la frecvența $f$ și amplitudinea deplasării $a$ scoase din oscilogramele înregistrate. S-au calculat [1] următorii parametri:

- pulsația $\omega = 2\pi f$ $s^{-1}$
- amplitudinea accelerației $w = a\omega^2 \times 10^{-4}$ $cm/s^2$ ($a$ fiind măsurat în μm)
- intensitatea vibrației $i = w^2/f$ $cm^2/s^3$ respectiv:

$$S = 10 \times \lg \frac{i}{i_s} \quad \text{vibrar}$$

unde $i_s$=0,1 $cm^2/s^3$ este o cifră de reper [1]

O clasificare a mărimii trepidațiilor apărute în funcție de intensitatea lor în vibrar și efectul asupra comportării clădirii, sunt arătate în tabelul 3.

Clasificarea trepidațiilor apărute după efectul lor asupra clădirii

Tabelul 3

| $S$ Intensitatea trepidațiilor, în vibrar | Clasa trepidațiilor | Efectul asupra clădirii |
|---|---|---|
| 10...20 | Trepidații ușoare | Nu prezintă |
| 20...30 | Trepidații mijlocii | pericol |
| 30...40 | Trepidații puternice | Deteriori ușoare, fisuri în ziduri |

Din acest tabel rezultă că valoarea admisă a intensității vibrației este $S_{max} \leq 30$ vibrar, reflectă în trepidații mijlocii al căror efect asupra clădirii nu prezintă pericol.

## 4 Interpretări și concluzii

4.1 *Comportarea construcției la mersul sub sarcină al pulsatorului*

Conform tabelelor 1 și 2, în locurile de măsurare menționate la nr.crt.1...6 și 9, la cicluri de solicitare de compresiune pulsantă cu $F_{max}$ = (17...220) kN, $F_{min}$ = (12...70) kN și frecvența $n$ = 500...1300 cicl/min, vibrațiile induse înregistrează următoarele valori:

- frecvența $f$=(10...23) Hz $s^{-1}$;
- amplitudinea deplasării $a$ = (1,12...12) μm
- amplitudinea vitezei $v = 0{,}075\times10^{-1}$... $1{,}63\times10^{-1}$ cm/s
- intensitatea vibrației $S$ = 0,79...23,78) vibrar.

Se constată că din totalitatea frecvențelor $f$ măsurate la nr. crt. 5 și 6 valorile de (10...15)Hz se înscriu în gama (4 ... 15) Hz valori care reprezintă frecvențele proprii ale vibrațiilor clădirilor [1]; din acest motiv, încercările cu $n$ = 500...900 cicl/min sunt de evitat, pentru a nu intra în zona frecvenței proprii a clădirii.

În privința amplitudinii deplasării $a$, valorile se înscriu integral în câmpul valorilor admisibile, în timp ce amplitudinea vitezei admise $v_{max} \leq 1\times10^{-1}$ cm/s este depășit la două măsurări pe fundația mașinii de încercat și anume $v = 1{,}09\times10^{-1}$ și $1{,}18\times10^{-1}$ cm/s (nr. crt.1), respectiv la etajul 1 poziția 2, $v = 1{,}63\times10^{-1}$ cm/s (nr.crt.9), ciclurile aferente urmând a fi evitate la încercările la oboseală efectuate cu pulsatorul.

Valorile intensității vibrațiilor se situează sub valoarea admisă $S_{max} \leq 30$ vibrar.

4.2 *Comportarea construcției la mersul în gol al pulsatorului*

Conform tabelelor 1și 2, în locurile de măsurare de la nr. crt. 7 și 8, la mersul în gol al pulsatorului dar la frecvențe mari, la $n$=1000 ... 1500 cicl/min., apar vibrații cu următoarele valori:

- frecvența $f$ = (21...26) Hz $s^{-1}$
- amplitudinea deplasării $a$ = (2,2...5,6) μm;
- amplitudinea vitezei $v = (0{,}3\times10^{-1}...0{,}85\times10^{-1})$ cm/s
- intensitatea vibrației $S$ = (9,03...18,69) vibrar.

Se observă că toate valorile măsurate la mersul în gol se încadrează în câmpul de toleranțe al parametrilor respectivi.

4.3 *Influența intensității vibrațiilor asupra condițiilor de muncă*

Se ştie că pentru vibraţii verticale de frecvenţe (5...40) Hz, efectul lor este determinat de mărimea amplitudinii vitezei [1].

În cazul de faţă, vibraţiile măsurate (tabelul 2) sunt de frecvenţe $f$ = (10...26) Hz, deci parametrul perturbator relevant este amplitudinera vitezei vibraţiei, care trebuie luată în considerare la analiza efectului acesteia asupra condiţiilor de lucru.

Aprecierea efectului vibraţiilor asupra lucrului prestat de om şi modul cum omul percepe vibraţiile se face prin intermediul unui coeficient de obosire prin vibraţii $K$ a cărui vibraţie este reprezentată în fig.2.

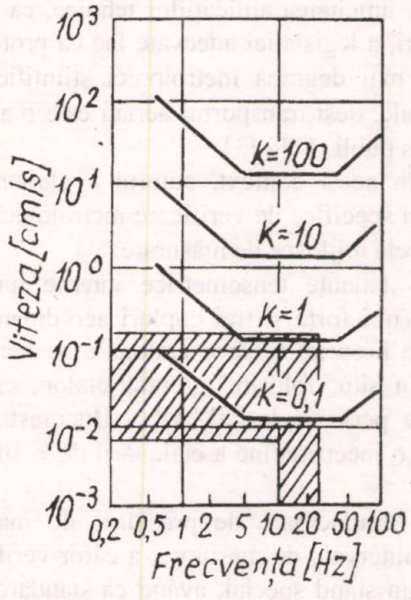



Fig.2 Variaţia coeficientului $K$ în funcţie de frecvenţa şi amplitudinea vitezei vibraţiei

Din tabelul 1 rezultă că în locurile de măsurare menţionate la nr. crt. 2...9 se manifestă vibraţii având amplitudinea vitezei $v = (0{,}075\times10^{-1} \ldots 1{,}63\times10^{-1})$ cm/s şi frecvenţe $f$ =(10 ... 26) Hz. Aceste valori delimitează zona haşurată din fig.2, constatându-se că aceasta încadrează domeniul $K = 0{,}06 \ldots 1$.

Gradul de obosire a omului se ia în considerare începând cu zona percetibilă care porneşte de la $K$ = 0,1 şi continuă după cum se arată în tabelul 4.

Nivelul de obosire al omului prin vibraţii

*Tabelul 4*

| $K$ Coefiecient de obosire prin vibraţii | Modul de percepere a vibraţiilor | Efectul vibraţiilor asupra lucrului |
|---|---|---|
| 0,1 | Prag de percepţie | Nu împiedică lucrul |
| 0,1...0,3 | Perceptibile, puţin supărătoare, suportabile pe durată | |
| 0,3...1 | Bine perceptibile, pe durată lungă, dar suportabile | |

Concluzia este că vibraţiile apărute nu influnţează negativ asupra activităţii umane.

*BIBLIOGRAFIE*

[1] *Buzdugan G.* Măsurarea vibraţiilor mecanice. Editura Tehnică, Bucureşti 1964

[2] *Hann F. E. I.* Metode şi aparate de măsurat în încercarea prin încărcare a construcţiilor. Cap. 3 din "Încercarea construcţiilor " sub redactarea acad. S. Bâţan şi M. Arcan.

[3] *Hann. F.E.I.* Tensometrrie electrică rezistivă. Serie de articole în "Metrologia aplicată"Bucureşti, nr. 11/1963; nr.3;9; 10/1965

[4] Hottinger Baldwin Masstechnik GmbH. Messung von Schwingungen unterhalb der Eigenfrequenz des Schwingungsauf nehmers B3. Prospect HBN nr. TD 50102/1171-4.0(Me) Darmstadt 1971

[5] Norma tehnică de metrologie NTM 3-75-75 Instrucţiuni pentru verificarea maşinilor de încercări la oboseală la încercări axiale. Editura Tehnică, Bucureşti 1976

[6] SR ISO 2017: 1994 Vibraţii şi şocuri mecanice.Prescripţii pentru precizarea caracteristicilor

[7] SR ISO 2041: 1994 Vibraţii şi şocuri. Vocabular

[8] SR ISO 5348: 1994 Vibraţii şi şocori mecanice. Fixarea mecanică a accelerometrelor

[9] STAS 12667-88 Vibraţii mecanice ale maşinilor rotative mari cu turaţii cuprinse între (10 ... 20)rot/s. Măsurarea intensităţii vibraţiilor.

# Aspecte privind verificarea metrologică a instrumentației de la sufleria trisonică din INCAS - BUCUREŞTI

*Dan - Mihai ŞTEFĂNESCU*[*]

**Abstract:** *During the blowdown experiments for aircraft models tests, performed at the National Institute for Aerospace Research, with the trisomic wind tunnel, a large number of electrical measurements are performed to determine mechanical quantities such as force, moment, pressure and vibration parameters as well as temperature measurements. Even though aircraft transportation is a public interest activity, due to the complex character of the problem, to the unique nature of the technical application and to the inadequate legal framework, one may consider this subject as belonging rather to the scientific metrology than to the legal one.*

**Résumé:** *Au cours des rafales d'essai appliquées aux modèles d'aéronefs à l'aide de la soufflerie trisonique de l'Institut National de Recherches Aérospatiales, on effectue un grand nombre de mesures électroniques des grandeurs mécaniques (force, couple, pression, vibrations) et thérmiques. Le caractère complexe, l'unicité des application techniques, de même que, par ailleur, la manque d'une législation appropriée sont autant de raisons pour lesquelles la problème appartient plutôt à la métrologie scientifique qu'à celle légale bien que le transport aérien soit une activité d'intérêt publique.*

## 1 Introducere

La Sufleria Trisonică din Institutul Naţional de Cercetări Aerospaţiale „Elie Carafoli"[*], în cursul rafalelor pentru testarea modelelor de aeronave, se efectuează un mare număr de măsurări electronice ale mărimilor mecanice (forţe - cupluri, presiuni, vibraţii etc) şi termice (temperaturi în diverse puncte, vizualizări cu ajutorul termoviziunii).

Caracterul complex, mai accentuat azi decât în trecut, unicitatea aplicaţiilor tehnice, ca şi lipsa, pe alocuri, a legislaţiei adecvate fac ca problema să aparţină mai degrabă metrologiei ştiinţifice decât celei legale, deşi transportul aerian este o activitate de interes public [1] - [3].

În acest context, autorul a elaborat două proceduri specifice de verificare metrologică pentru următoarele mijloace de măsurare:

- balanţe tensometrice interne multicomponente (trei forţe şi trei cupluri aerodinamice) de concepţie proprie, a căror etalonare se face gravimetric, in situ, folosind greutăţi-etalon, care sunt verificate periodic la SIMAR - Bucureşti, garantându-se o incertitudine a etalonării de ± 100 mg la 20 kg;

- traductoare de presiune, de mai multe tipuri şi intervale de măsurare, a căror verificare se face pe un stand special, având ca standard primar un manometru cu piston şi greutăţi de tip 364/6 - 201 - 0001, clasă 0,015, fabricat de BELL & HOWELL şi trasabil la etalonul naţional de presiune al României, cu certificatul de etalonare nr. 02.03.573/95, furnizat de Institutul Naţional de Metrologie (INM) din Bucureşti, cu valabilitate până în septembrie 1999.

## 2 Verificarea metrologică a greutăţilor pentru etalonarea balanţelor tensometrice multicomponente

La Sufleria Trisonică a INCAS, realizată în anii '70 în cooperare cu Canada, sunt în uz mai multe balanţe tensometrice cu şase componente, încărcările celor mai reprezentative fiind date în tabelul 1.

[*] Institutul Naţional de Cercetări Aerospaţiale „Elie Carafoli", Bd. Iuliu Maniu 220, Bucureşti - 77538

**BALANŢE TENSOMETRICE INTERIOARE MULTICOMPONENTE**

Tabelul 1

| FIRMĂ TIP COMPONENTĂ | TEM f 26 | TASK 2,0 MK XXVI A | INCAS BTM-SO |
|---|---|---|---|
| AXIALĂ - X [N] | 712 | 2670 | 2850 |
| LATERALĂ - Y [N] | 2406 | 17800 | 9650 |
| NORMALĂ - Z [N] | 4761 | 17800 | 14700 |
| RULIU - $M_x$ [N·m] | 19,2 | 339 | 320 |
| TANGAJ - $M_y$ [N·m] | 148,8 | 1638 | 820 |
| GIRAŢIE 0 $M_z$ [N·m] | 65,6 | 1356 | 760 |

Balanţele TEM şi TASK au fost livrate de anglo-americani împreună cu certificatele de etalonare respective, care conţin şi coeficienţi de interacţiune, în schimb pentru balanţa noastră [4], prezentată în figura 1, s-a impus realizarea unui banc de calibrare propriu (contract de cercetare ştiinţifică P-1622/1995).

coloană axială; 7 - mecanism de declanşare; 8 - sistem de încărcare. În lipsa unor traductoare de forţe d exactitate ridicată, se recurge la varianta verificării gravimetrice a sensibilităţilor celor şase canale tensometrice ale balanţelor, cu ajutorul unor mase etalonate.

Laboratorul de etalonare autorizat de Biroul Român de Metrologie Legală, la care s-a efectuat verificarea metrologică a maselor de 10 kg şi 20 kg de la INCAS, este SIMAR (Service Industrial pentru Metrologie, Automatizări şi Recondiţionări) din Bucureşti. Pentru mijloacele sale de măsurare, declarate mase etalon secundare de ordinul IV (piese din oţel inoxidabil paramagnetic), s-au emis certificate de etalonare [5], care asigură trasabilitatea la etalonul naţional al României, garantând o incertitudine a etalonării de ± 100 mg la 20 kg.

## 3 Verificarea metrologică a traductoarelor de presiune

Datorită specificului aerodinamic, măsurările de presiune deţin o pondere însemnată în

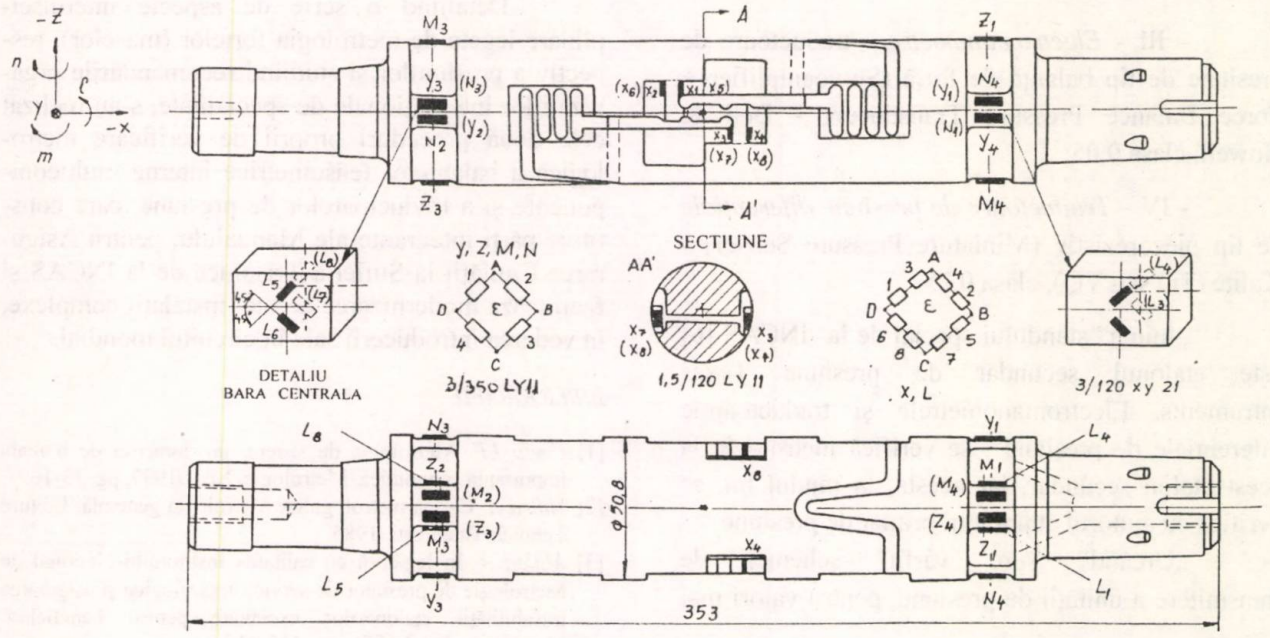



*Fig.1*

Standul de calibrare, schematizat în figura 2, are următoarele repere: 1 - senzor multicomponent; 2 - traductor pentru măsurarea forţei; 3 - şurub pentru reglare (întinzător); 4 - greutăţi etalonate; 5 - dispozitiv de poziţionare; 6 - cuplaj

ansamblul experimentărilor desfăşurate la Sufleria Trisonică. Se poate face următoarea ierarhizare a instrumentaţiei utilizate, după rolul funcţional şi clasa de exactitate:

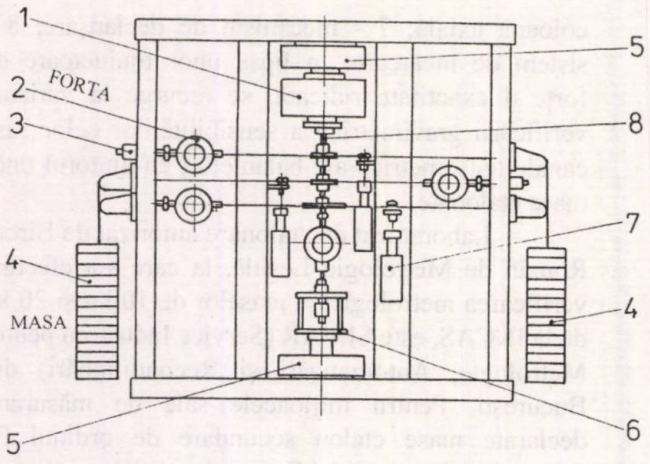



Fig2

- I - *Etalon primar cu greutăți* (Primary Pressure Standard - Deadwight Tester) - Bell & Howell, clasa 0,015;

- II - *Etalon secundar de presiune* (Precision Pressure Test Set) - Texas Instruments 156, având precizia de reglare mai bună de $10^{-3}$ procente din întreaga scară;

- III - *Electromanometre* - traductoare de presiune de tip balanță de forță (Servoamplifier + Force Balance Pressure Transducer) - Bell & Howell, clasa 0,05;

- IV - *Traductoare de presiune diferențiale* de tip piezorezistiv (Miniature Pressure Sensor) - Kulite (TQ sau VQ), clasa 0,25.

„Inima" standului special de la INCAS [6] este etalonul secundar de presiune Texas Intruments. Electromanometrele şi traductoarele diferențiale de presiune[1] se verifică metrologic la acest etalon secundar, iar acesta, la rândul lui, se verifică cu ajutorul etalonului primar de presiune.

„Urcând" spre vârful schemei de transmitere a unității de presiune, pentru valori mai mari de 100 kPa manometrul nostru cu piston şi greutăți („deadweight tester") se verifică prin comparare directă cu etalonul de referință de la INM, care este trasabil la etalonul național de presiune al României.

Certificatul de etalonare atestă clasa de exactitate 0,02 pentru manometrul nostru cu piston şi greutăți, plasându-l în categoria etaloanelor secundare de ordinul II corespunzător nivelului măsurărilor de presiune executate la INCAS Bucureşti.

## 4 Concluzii

Traductoarele de forțe/cupluri şi presiuni sunt doar intrările unui sistem de măsurare complet, asistat de calculator şi îmbinând armonios experiențe fizice parțiale cu prelucrări de informații care se efectuează cu metode statistice, bazate pe tehnici de programare adecvate [1].

Detaliind o serie de aspecte interdisciplinare legate de metrologia forțelor (maselor), respectiv a presiunilor şi studiind recomandările organizațiilor internaționale de specialitate, s-au realizat cele două proceduri proprii de verificare metrologică a balanțelor tensometrice interne multicomponente şi a traductoarelor de presiune, care constituie părți integrante ale Manualului pentru Asigurarea Calității la Sufleria Trisonică de la INCAS şi facilitează modernizarea acestei instalații complexe, în vederea introducerii sale în circuitul mondial.

*BIBLIOGRAFIE*

[1] *Crețu I.F.* Metrologia de sistem, un domeniu de o reală importanță economică. Metrologie, Nr. 1/1997, pg. 13-16.

[2] *Millea A.* Cartea metrologului. Metrologia generală. Editura Tehnică, Bucureşti, 1985.

[3] *Millea A.* În legătură cu calitatea Institutului Național de Metrologie de prestator de servicii metrologice şi asigurarea trasabilității etalonărilor executate pentru beneficiari. Metrologie, Nr. 4/1996, pg. 115-119.

[4] *Ştefănescu D.M.* Metrological Check Procedure for Multicomponent Internal Strain Gauged Balances. Proc. 15th Intl. Conf. „Accuracy Assurance in Force, Torque and Mass Measurements", pg. 305-310, Madrid, October 7-11, 1996.

[5] *Ştefănescu D.M.* Metrological Check of Deadweights for Calibrating the Multicomponent Strain Gauge Balances. Proc. Intl. Conf. „Weighing and Measurement in the Year 2000", pg. 143-150, Sheffield, 16th-17th September 1997.

[6] *Ştefănescu D.M.* A Metrological Check Procedure for the Pressure Transducers Existing in the Bucharest Trisonic Wind Tunnel. Poster - 8th Intl. Congress „Métrologie '97", Besançon, 20-23 octobre 1997.

[1] Pe bancul de calibrare se verifică diferite carcateristici metrologice ale traductoarelor de presiune: sensibilitate, valori extreme (zero şi maxim), rezoluție, eroare globală (liniaritate, histerezis, repetabilitate), plus performanțe dinamice în cazul scanivalvelor. Se subînțelege că şi instrumentația aferentă (voltmetru digital, vacuummetru etc) este testată periodic în laboratoare de metrologie. Aceste caracteristici metrologice atestă buna funcționare a fiecărui traductor de presiune, dar ele nu se folosesc ca atare, procedura de etalonare asistată de calculator materializându-se prin introducerea în master a parametrilor dreptei de regresie: *offset* - exprimat în „counts" şi *pantă* [„counts"/mbar].

# Aparat inteligent pentru măsurarea conductanței, conductivității specifice, rezistivității şi TDS utilizând senzori de conductivitate cu patru electrozi

*Florian MIHĂLCIOIU*[*]; *Mitică CARAIANI*[**] *Ernest KIRALY*[**]; *Eugen BÂRU*[**]

**Abstract:** *The paper presents a conductometer with a 87C51PB microcontroller which can be used to measure specific conductivity, conductance, temperature and TDS using a conductivity sensor with 10TiNiCrI80 stainless steel electrodes. By using a four points measuring circuit, the stainless steel electrodes can be used in the whole measuring range. The device provides a high accuracy by using an unconventional conductometric sensor.*

**Résumé:** *L'article présente un conductomètre avec un microcontroller 87C51PB qui peut être utilisé pour mesurer la conductivité spécifique, la conductance, la température et le TDS en utilisant un capteur de conductivité avec des électrodes à acier inoxydable 10TiNiCr80. Utilisant un circuit de mesurage à quatre points, on peut utiliser les électrodes à acier inoxydable dans tout l'intervalle de mesure. L'appareil offre une précision élevée en utilisant un capteur conductométrique non-conventionnel.*

Preocupările noastre în domeniul cercetării senzorilor conductometrici au dus la îmbunătățirea constructivă şi funcțională a acestora, precum şi la lărgirea domeniului lor de utilizare.

Conductometrele utilizate pentru măsurarea conductivității electrice funcționează pe baza a diferite metode de măsurare: metode de punte, măsurarea cu patru electrozi, măsurarea prin inducție, măsurarea prin metoda impulsului bipolar, metoda detecției sincrone etc. Ele utilizează numeroase tipuri de celule de conductivitate: cu electrozi plan paraleli, concentrici sau colineari, inelari sau spiralați şi diferite materiale de electrod (platină, platină platinată, aur, argint, nichel, titan, stibiu, inox, ruteniu) [1;2] .

Utilizând o schemă de măsurare în patru puncte a fost realizat un senzor de conductivitate cu patru electrozi de inox. Schema de principiu pentru măsurarea conductivității este prezentată în figura 1.

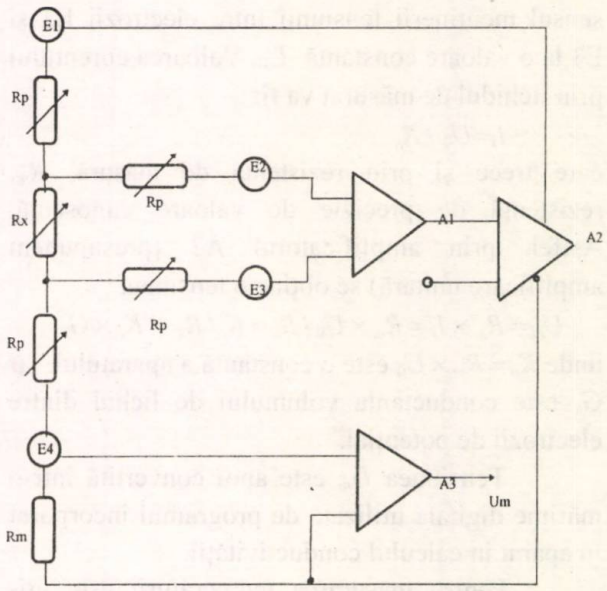



Fig. 1 Schema de principiu pentru măsurarea conductivității cu celula cu patru electrozi

E1,E4 electrozi de curent
E2,E3 electrozi de potențial
$R_p$ rezistența parazită datorată efectelor ce apar la interfața electrod/lichid
$R_x$ rezistența lichidului a cărui conductanță se măsoară
$R_m$ rezistanța de măsurare
A1 amplificator cu impedanța de intrare mare
A2 regulator de tensiune
A3 amplificator de măsură
$U_m$ tensiunea măsurată, proporțională cu conductivitatea.

[*] METECUS Cluj Napoca
[**] DATRONIX COMPUTER Cluj Napoca

Conductivitatea este măsurată aplicând un principiu modern de măsurare pentru celulele cu patru electrozi: doi electrozi de curent şi doi electrozi de potenţial. Avantajele utilizării acestui tip de celulă sunt următoarele:

- extinderea domeniului de măsurare pentru un senzor;
- deoarece principiul de măsură realizează compensarea rezistenţei parazite ce se crează la interfaţa electrod / soluţie, electrozii nu au nevoie de platinare şi pot fi utilizaţi pe o perioadă îndelungată;
- creşterea liniarităţii senzorului;
- scăderea densităţii de curent prin electrozii de potenţial, ceea ce duce la reducerea polarizărilor.

Regulatorul de tensiune A2 acţionează în sensul menţinerii tensiunii între electrozii E2 şi E3 la o valoare constantă $U_0$. Valoarea curentului prin lichidul de măsurat va fi:

$$I_x = U_0 / R_x$$

care trece şi prin rezistenţa de măsură, $R_m$, rezistenţă de precizie de valoare cunoscută. Astfel, prin amplificatorul A3 (presupunem amplificare unitară) se obţine o tensiune:

$$U_m = R_m \times I_x = R_m \times U_0 / R_x = K / R_x = K_a \times G_x$$

unde $K_a = R_m \times U_0$ este o constantă a aparatului, iar $G_x$ este conductanţa volumului de lichid dintre electrozii de potenţial.

Tensiunea $U_m$ este apoi convertită într-o mărime digitală utilizată de programul încorporat în aparat în calculul conductivităţii.

Pentru măsurarea temperaturii este utilizat un senzor de tip semiconductor.

Tensiunea unei joncţiuni, dependenţa de temperatură , este amplificată şi convertită analog-numeric. Programul calculează apoi temperatura pe baza dependenţei tensiune - temperatură descrisă aparatului prin procedura de calibrare.

Conductivitatea specifică, notată cu $\sigma$, este o funcţie liniară de conductanţă ($G_x$):

$$\sigma_x = K_c \times G_x$$

unde $K_c$ este constanta celulei - prescrisă de utilizator sau determină prin calibrare.

Conductometrul face apoi compensarea cu temperatura după formula:

$$\sigma_x = \sigma_{xr} \times [1 + K_t \times (T - T_r)]$$

unde $K_t$ este coeficientul de temperatură (prescris de utilizator), $T_r$ este temperatura de referinţă ( de exemplu temperatura la care s-a făcut determinarea constantei celulei) iar $\sigma_{xr}$ valoarea conductivităţii la acestă temperatură.

Rezistivitatea se calculează prin inversarea conductivităţii specifice:

$$\rho_x = 1 / \sigma_x$$

Pentru calculul TDS se utilizează o constantă de proporţionalitate ($K_{TDS}$) astfel:

$$TDS_x = K_{TDS} \times \sigma_x$$

Schema bloc este următoarea:

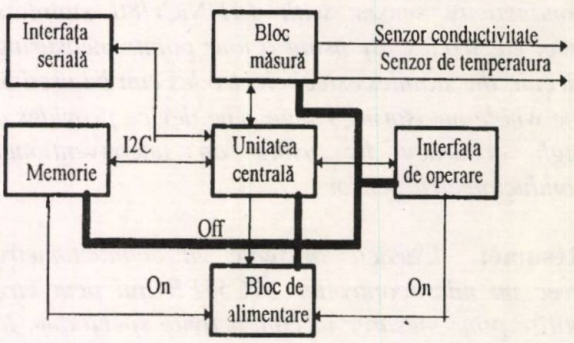



Fig.2 Schema bloc a conductometrului

Principalele blocuri funcţionale sunt:

- unitatea centrală care conţine microcontrollerul şi circuitele auxiliare
- bloc de măsură ce realizează funcţia de măsurare a conductanţei şi a temperaturii
- memoria compusă din memoria pe baterie (semipermanentă), ceas/calendarul şi memoria EPROM
- blocul de alimentare produce tensiunile stabilizate şi realizează comutarea alimentării de la baterie la adaptorul de 220 $V_{ca}$ / 9$V_{cc}$
- interfaţa serială RS232 bidirecţională izolată galvanic de masa aparatului.

A fost realizat un senzor de conductivitate format din următoarele componente: patru electrozi de inox, traductor de temperatură, cap senzor, capac, clopot, bucşă izolatoare şi cablu de măsurare cu şase fire. Electrozii de inox cu diametrul de 2,5 mm şi 16 mm lungime au fost prelucraţi din bare de inox 10 TiNiCr180. Traductorul de măsurare şi compensare a variaţiei

de temperatură este de tip joncțiune semiconductoare *pn*.

**Caracteristici tehnice**

| | Domeniu de măsurare | Rezoluție | Precizia aparatului |
|---|---|---|---|
| Conductanță | 1µS | 0,01µS | |
| | 10µS | 0,01µS | |
| | 100µS | 0,1µS | |
| | 1mS | 1µS | ±0,2%ct + ±0,1%cs |
| | 10mS | 0,01mS | |
| | 100mS. | 0,1ms | |
| Conductivitate sporită | 1µS/cm | 0,01µS/cm | |
| | 10µS/cm | 0,01µS/cm | |
| | 100µS/cm | 0,1 µS/cm | ±0,2%ct + ±0,1%cs |
| | 1mS/cm | 1 mS/cm | |
| | 10mS/cm | 0,01mS/cm | |
| | 500mS/cm | 0,1 mS/cm | |
| Concentrație | $10^{-8}...10^{2}$g/l | 0,1% | ± 0,5% |
| TDS | $10^{-8}...10^{2}$g/l | 0,1% | ± 0,5% |

Schimbarea automată a domeniului de măsurare
Compensarea cu temperatura: 0° ...+100°C
Funcțiuni: selectabil *G* (conductanță) σ (conductanță specifică) *C* (concentrație) ρ (rezistivitate) *T* (temperatură)
HOLD, MIN/MAX,RELativ, REC, MEM, CAL
Afișare: LCD alfanumeric 2×16 caractere
Dimensiuni: (210×100×60) mm
Greutate: aproximativ 400 g

Ansamblul senzor - aparat are domeniu de utilizare vast:

- măsurarea conductivității şi a reziduurilor conductive pentru apele din precipitații, de suprafață şi de adâncime;determinarea şi controlul purității apei distilate, deionizate;
- măsurarea conductivității specifice şi a concentrației (mg/l) unor soluții de electroliți (de exemplu acid sulfuric);
- titrări conductometrice;
- monitorizarea reziduurilor conductive din apele de suprafață (uzate, epurate, industriale); urmărirea unor procese industriale la care se modifică conductanța soluțiilor.

*BIBLIOGRAFIE*

[1]*E. Hopârtean, F.Mihălcioiu, E. Forizs, F. Kormos*: Impedance spectroscopy on nonconventional conductivity cells, Sensors and Actuators B19(1994)399

[2] *F.Mihălcioiu, E. Forizs*: Conductivity cells with antimony or sintered titanium electrodes, Proceedings of Eurosensors X Leuven, Belgia(1996)

# Un măsurător de câmp electrostatic prevăzut cu higrometru

*Mihai ANTONIU* [*], *Nicolae PALAGHIU* [**], *Loreley BUCHHOLTZER* [***]

**Abstract:** *A mill type electrostatic field measuring instrument with a built-in hygrometric transducer is presented. The instrument can measure electric fields in the range (1 ... 1000) kV/m and humidity in the range 10% ... 95% cs. Being a portable instrument, it is suitable for electrostatic charging measurement and control in the industry.* [*]

**Résumé:** *On présente un instrument type moulinet pour le mesurage des champs électrostatiques qui a un capteur hygrométrique inclus. L'instrument permet le mesurage de l'intensité du champ électrique dans l'intervalle (1 ... 1000) kV/m aussi que l'humidité dans l'intervalle 10% ... 95% cs. L'instrument est portable et, par conséquent, il est utilisable dans l'industrie pour le mesurage et le contrôle du chargement électrostatique.*

## 1 Introducere

Cunoaşterea umidităţii relative a aerului (HR%) prezintă o importanţă deosebită pentru controlul încărcării electrostatice ($Q_x$) din încăperile în care se lucrează cu materiale uşor electrizabile (textile, fârtie, mase plastice etc.), deorece atât acumularea de sarcini electrice ($Q_x$) pe astfel de materiale cât şi scurgerea naturală a acestora la pământ sunt puternic influenţate de către HR [1;2]. De exemplu, un operator uman se încarcă la 20 kV într-o încăpere uscată (HR=20%), iar umiditatea normală HR=60% se încarcă numai la 2-3 kV, adică de 10 ori mai puţin. De aici şi importanţa unui aparat capabil de a măsura atât pe $Q_x$, cât şi pe HR%. De menţionat că, de regulă $Q_x$ se măsoară prin intermediul câmpului electric $E_x$, generat de către acesta

## 2 Schema funcţională a aparatului propus

Schema funcţională a aparatului propus este prezentată în fig.1. Se observă că este alcătuit din două blocuri de măsură: unul pentru măsurarea intensităţii câmpului electric $E_x$ şi altul pentru măsurarea umidităţii relative (HR), ambele putând fi conectate (alternativ) la un voltmetru numeric (*VN*) prin intermediul unui comutator de funcţii (*SW*); acest voltmetru afişează fie direct valoarea lui $E_x$ (kV/m), fie pe cea a umidităţii (HR)%.

*Blocul de măsurare al umidităţii aerului (HR%)* este realizat sub forma unui traductor higrometric (*TH*) detaşabil (fig.2) ceea ce permite o independenţă totală, atât la măsurarea lui $E_x$, cât şi a lui *HR*. Conectarea lui $T_h$ la *VN* se face ajutorul unui jack (*J*) care joacă rolul întrerupătorului *SW* din fig.1.

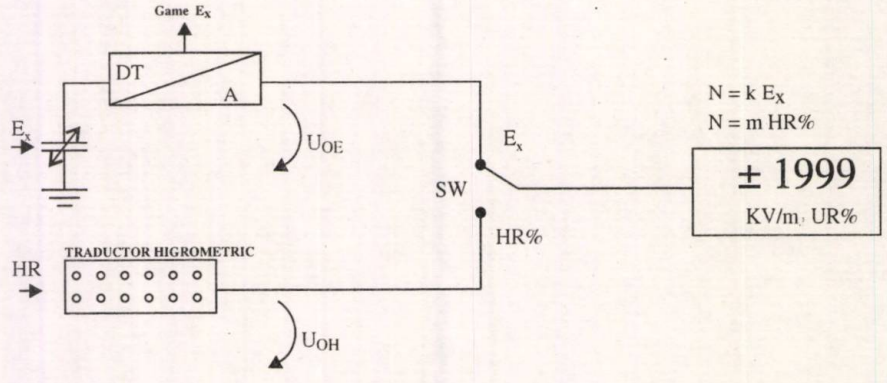
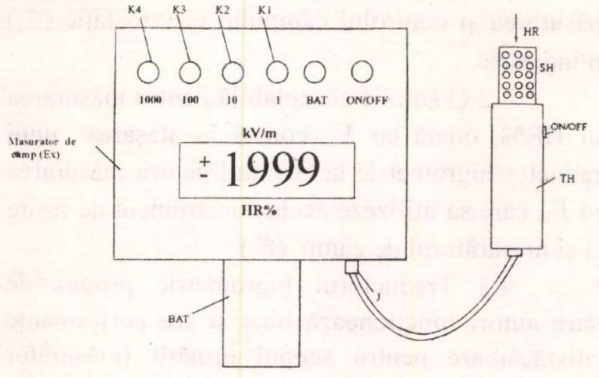



Fig. 1

* Universitatea Tehnică - Iaşi
** S.C. Log Soft - Iaşi
*** Spitalul CFR- Iaşi




- temperatura de lucru : (0...60) °C;
- timpul de măsurare la 25°C: (3...5) min;
- tensiunea de alimentare: 9V.

În fig. 4 se arată dependența capacității ($C_x$) de umiditatea de măsurat (HR%). Se observă că este lineară şi că poate fi exprimată analitic printr-o expresie de forma ($m_1$ = const.)

$$C_x = m_1 (HR\%) \quad (1)$$

3.3 *Ecuația de funcționare a traductorului higrometric (TH)*

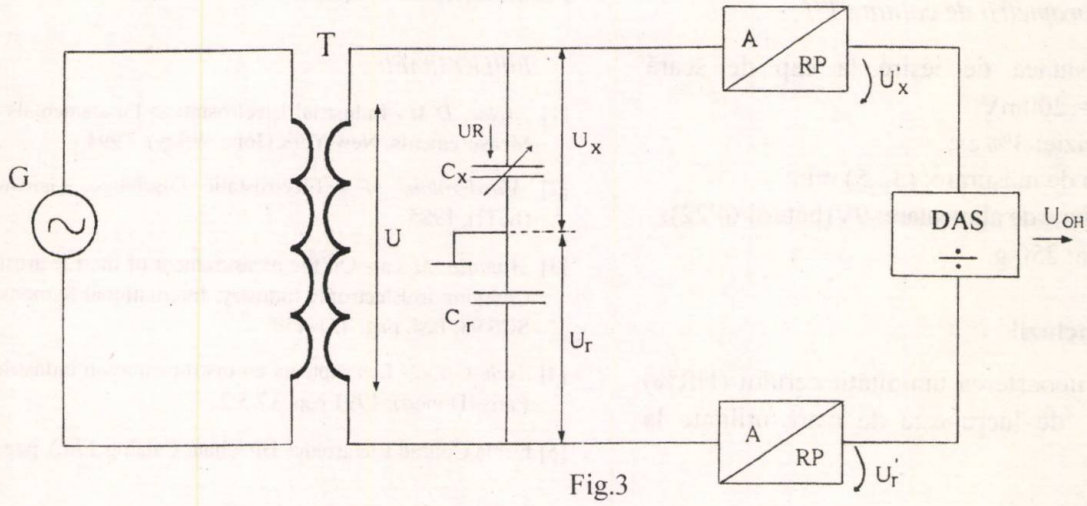



Fig.3

## 3 Traductorul higrometric (TH)

Din motive de simplitate şi de raport performanțe/cost s-a ales traductorul cu senzor capacitiv de umiditate.

3.1 *Schema funcțională a TH*

Aceasta este prezentată în fig.3, unde $C_x$ este senzorul capacitiv de umiditate (*SH*), $C_r$- condensator de referință, *A/RP* - amplificator/ redresor de precizie, *DAS* - un divizor analogic de semnal, *G*- un oscilator de 100 kHz iar *T* - un transformator cu miez de ferită.

3.2 *Senzorul capacitiv de umiditate*

Este tipul cu dielectric din peliculă de polimer şi armături din foițe subțiri de aur [4] şi în varianta VOLVO, are următoarele caracteristici de bază [5]

- capaciatea (la 25° C, HR = 43%, frecvența 100 kHz) = 122 pF;
- sensibilitate 0,4 pF%;
- domeniul de măsurare al umidității HR= 10 % ... 90 %;
- domeniul de frecvență în care poate lucra : 1kHz...1MHz;

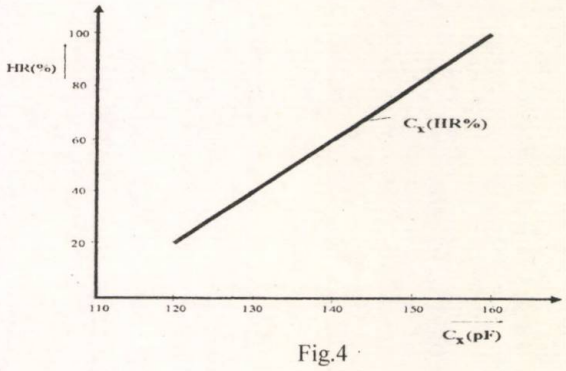



Fig.4

Din schema funcțională (fig.3) rezultă relațiile

$$U_x = C_r U / (C_x + C_r); \quad U'_x = m_2 U_x \quad (2)$$

$$U_r = C_x U / (C_x + C_r); \quad U'_r = m_3 U_r \quad (3)$$

$$U_{OH} = U'_r / U'_x = (m_3 C_x) / (m_2 C_r) \quad (4)$$

de unde, ținând cont de (1) se obține în final expresia:

$$U_{OH} = (m\ HR\%);\ m = m_1 m_3 / m_2 C_r \quad (5)$$

ce reprezintă ecuația de funcționare căutată, în care $m_1$ şi $m_2$ reprezintă factorii de transfer ai blocurilor *A/RP* de pe canalele $U_x$ şi respectiv $U_r$.

3.4 *Forma constructivă a TH*

Fiind vorba de prototip, toată electronica blocurilor *G,T, A/RP* şi *DAS* precum şi bateria de alimentare (9V, 6F22) au fost plasate într-o carcasă dreptunghiulară de tester de tensiune (170 x 40 x 20) mm, iar sezonul capacitiv higrometric (*SH*) a fost introdus într-o montură din tablă de aluminiu prevăzută cu găuri, montura fixată într-un capăt al carcasei menţionate.

3.5 *Parametrii de calitate TH*

- tensiunea de ieşire la cap de scară (HR%): $U_{OH}$ = 200mV
- precizie: 3% cs;
- timp de măsurare: (3...5) min;
- tensiune de alimentare: 9V(baterii 6F22);
- masa: 250 g.

**4 Concluzii**

4.1 Cunoaşterea umidităţii aerului (HR%) în încăperile de lucru este de mare utilitate la măsurarea şi controlul câmpului electrostatic ($E_x$) în industrie.

4.2 O soluţie acceptabilă pentru măsurarea lui HR%, odată cu $E_x$, constă în ataşarea unui traductor higrometric la aparatul pentru măsurarea lui $E_x$, care să utilizeze acelaşi instrument de ieşire ca şi măsurătorul de câmp ($E_x$).

4.3 Traductorul higrometric propus de către autori funcţionează bine şi are performanţe satisfăcătoare pentru scopul urmărit (măsurător portabil pentru $E_x$ şi (HR%).

*BIBLIOGRAFIE:*

[1] *Taylor, D.M.*- Industrial Electrostatics: Fundamentals and Measurements, New York (John Wiley), 1994

[2] *Mardignian, M* - Electrostatic Discharge, Gainswille (ICTI), 1985

[3] *Antoniu, M* s.a - On the measurement of the Electrostatic Charging in Electronic Industry, International Symposium SCS'93, Iaşi, pag. 451-458

[4] *Asch, G* s.a. - Les capteurs en instrumentation industrielle, Paris (Dunod), 1991 cap. 17.5.2.

[5] Firma Conrad Electronic- Hirschau, Catalog 1982, pag.71.

# Dispozitiv şi metodă de măsurare a temperaturii

*Horia CHIRIAC, Mihai LOZOVAN, Florin RUSU, Maria URSE**

**Abstract:** *The paper presents a new method for temperature measurement based on the dependence on temperature θ of the frequency of the oscillations generated by a symmetric astable oscillator. the temperature sensor is a thin layer resistor made of Ni and $Ni_{60}$-$(SiO_2)_{40}$. The SPICE method for simulating the temperature measuring circuit was used and the calibration curves Rθ were reproduced within the measuring range (-200 ... +250) °C.*

**Résumé:** *L'article présente une métode nouvelle pour le mesurage de la température basée sur la dépendence de la température θ de la fréquence des oscillations produites par un oscillateur astable symmétrique. L'élément sensible à la température est une résistance à couche mince de Ni et $Ni_{60}$-$(SiO_2)_{40}$. On a utilisé la métode SPICE pour simuler le circuit pour le mesurage de la température et les courbes d'étalonnment Rθ ont été réproduites dans l'intérvalle (-200 ... +250) °C.*

## Introducere

Sunt cunoscute diferite metode pentru măsurarea temperaturii în domeniile medical, casnic şi industrial [1...4]. Măsurarea temperaturii prin metoda punţii rezistive presupune cunoaşterea curbei de calibrare $R(\theta)$ a senzorilor.

În continuare propunem o metodă simplă pentru măsurarea continuă şi directă a temperaturii în domeniul de la -200°C la + 250°C.

## Procedeu experimental

Metoda de măsurare a temperaturii propusă în lucrare este o metodă continuă şi directă bazată pe determinarea frecvenţei oscilaţiilor care apar într-un circuit astabil simetric. Elementul sensibil la temperatură în acest circuit este un rezistor $R(\theta)$ cu strat subţire din nichel respectiv unul cu $Ni_{60}$- $(SiO_2)_{40}$ [5].

Schema electrică a acestui circuit este prezentată în figura 1.

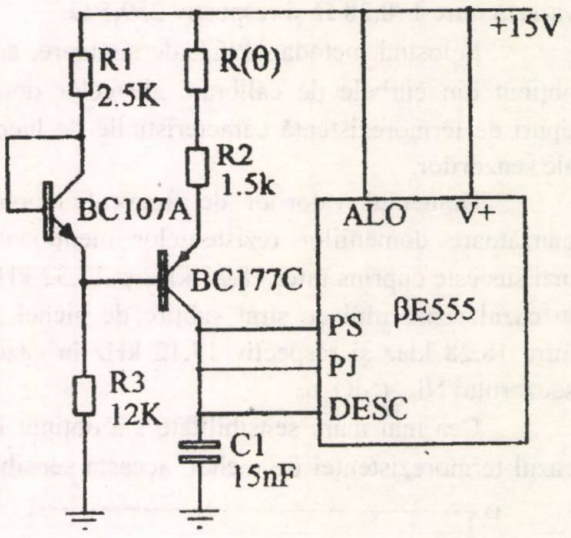



Fig 1 Schema electrică a dispozitivului de măsurare

Elementul sensibil $R(\theta)$ este conectat în circuitul emitorului tranzistorului BC 177C.

Acest element sensibil este introdus în mediul a cărui temperatură trebuie măsurată.

Deoarece curentul emitor este foarte mic, eroarea de măsurare dată de încălzirea elementului sensibil $R(\theta)$ este neglijabilă.

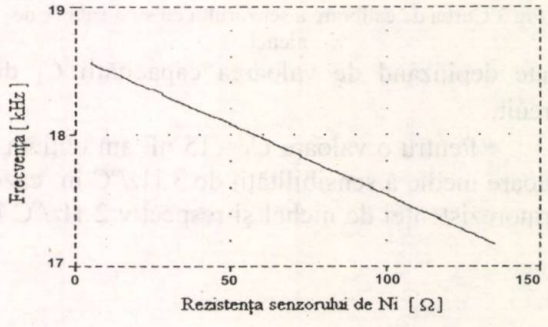



**Fig.2 Dependenţa frecvenţei de rezistenţa senzorului de nichel**

Fig. 2 Dependenţa frecvenţei de rezistenţa senzorului de nichel

* Institutul Naţional de Fizică Tehnică, Iaşi

Frecvența oscilațiilor din circuitul dispozitivului de măsurare este dată de relația :

$$f \sim 1/\{C[R_2 + R(\theta)]\}$$

Deoarece $R(\theta)$ este foarte mic, pentru $R_2 = 1{,}5$ kΩ, rezultă o caracteristică $f(\theta)$ care este practic liniară (fig. 2).

În domeniul de temperatură cuprins între -200°C şi + 250°C rezistența electrică a senzorului cu strat subțire din nichel variază între 4,45 Ω şi 130,15 Ω iar aceea a senzorului $Ni_{60}$-$(SiO_2)_{40}$ variază între 170,28 Ω şi respectiv 259,5 Ω.

Folosind metoda SPICE de simulare, am obținut din curbele de calibrare ale celor două tipuri de termorezistență caracteristicile de lucru ale senzorilor.

Domeniul valorilor de frecvențe corespunzătoare domeniilor rezistențelor menționate mai sus este cuprins între 18,27 kHz şi 17,32 kHz în cazul senzorului cu strat subțire de nichel şi între 18,28 kHz şi respectiv 17,12 kHz în cazul senzorului $Ni_{60}$-$(SiO_2)_{40}$.

Cea mai mare sensibilitate s-a obținut în cazul termorezistenței de nichel, această sensibi-

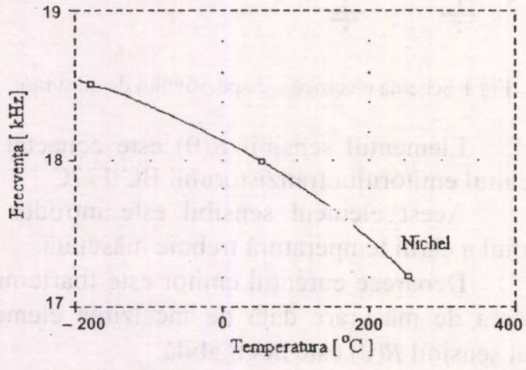



Fig.3 Curba de calibrare a senzorului cu strat subțire de nichel

Fig.3 Curba de calibrare a senzorului cu strat subțire de nichel

litate depinzând de valoarea capacității $C_1$ din circuit.

Pentru o valoare $C_1 = 15$ nF am obținut o valoare medie a sensibilității de 3 Hz/°C în cazul termorezistenței de nichel şi respectiv 2 Hz/°C în cazul senzorului cu strat subțire de $Ni_{60}$-$(SiO_2)_{40}$.

Neliniaritatea caracteristicilor de lucru

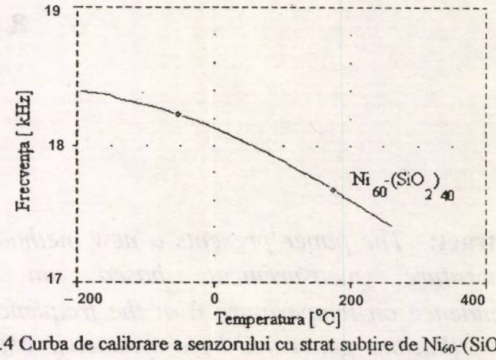



Fig.4 Curba de calibrare a senzorului cu strat subțire de $Ni_{60}$-$(SiO_2)_{40}$.

Fig.4 Curba de calibrare a senzorului cu strat subțire de $Ni_{60}$-$(SiO_2)_{40}$

este determinată de curbele de calibrare ale elementelor sensibile. Aceste curbe pot fi liniarizate prin conectarea în paralel cu elementele sensibile a unor elemente rezistive [5], dar în acest caz sensibilitatea metodei de măsurare scade (rezistorii pentru liniarizare nu se introduc în mediul a cărui temperatură trebuie măsurată).

**Concluzii**

Metoda şi dispozitivul propus în această lucrare permite măsurarea continuă şi directă a temperaturii în domeniul cuprins între -200°C şi respectiv +250°C.

Sensibilitatea metodei de măsurare este bună (2-3Hz/°C) şi depinde de tipul de senzor folosit.

Metoda propusă permite transmiterea la distanță a semnalului neprelucrat referitor la temperatura măsurată.

*BIBLIOGRAFIE*

[1] *V.M. Cosma, M. Lozovan, H. Chiriac, C.G. Haba,* Sensors and Actuators, Vol A 59, 1-3, pp128-132, 1997

[2] *M. Hoummady, D. Hauden,* Sensors and Actuators, Vol A 44, pp.177-182, 1994

[3] *M. Nakazawa, A.Ballato, T. Lukaszek,* IEEE Trans. Ultrason. Ferroel. Freq. Contr.,Vol UFFC 34, No.2, pp.270-277, 1987

[4] *V.M. Cosma, M. Lozovan,* Romanian Patent No.88538

[5] Bondable Temperature Sensors, Technical Note TN-506- 1, Measurements Group Inc. Catalogue, pp1-3, 1995

"IN MEMORIAM"

# ALEXANDRU TH. POPESCU (1897-1974)

S-au împlinit, la 11 august 1997, 100 de ani de la naşterea profesorului emerit **ALEXANDRU TH. POPESCU**, eminent pedagog, cercetător pasionat, om de vastă cultură, spirit enciclopedic, dedicat cu neasemuit devotament laboratorului şi studenţilor săi, de care s-a apropiat cu o caldă afecţiune şi înţelegere, izvorâte dintr-un suflet de o rară distincţie şi noblete.

Pentru numeroasele generaţii de ingineri electrotehnicieni şi energeticieni, pe care le-a educat în spiritul rigorii ştiinţifice, profesorul **ALEXANDRU TH. POPESCU** reprezintă modelul de dascăl înzestrat cu alese însuşiri profesionale şi morale.

Profesorul Alexandru Th. Popescu s-a născut la 11 august 1897 la Bârlad, într-o familie de actori dramatici.

Tatăl, *Theodor Popescu*, făcuse studii de artă dramatică în Italia, cu celebrii, la vremea lor, Rossi şi Salvini.

Mama, *Adelina Popescu*, născută Ademollo, de origine italiană, a fost, de asemenea, actriţă dramatică.

A avut un frate mai mare, *Achil Popescu*, actor şi artist liric, mort prematur în 1927, în plină afirmare pe scena operetei din Bucureşti.

Peregrinările turneelor i-au purtat paşii, alături de părinţii săi, prin diferite oraşe ale ţării: Tg.Jiu, Constanţa, Râmnicu-Vâlcea şi Alexandria.

Între anii 1904 - 1908, a urmat cursurile şcolii primare de băieţi nr.1 din Alexandria. La Bucureşti, urmează între anii 1908 -1912, cele patru clase gimnaziale, la liceul "Sf.Sava". După absolvirea gimnaziului, a urmat cursul superior al liceului "Mihai Viteazu", secţia reală.

În anul 1916, îşi dă bacalaureatul şi este admis, printre primii trei, la vechea şcoală de Poduri şi Şosele.

În timpul primului război mondial, a fost evacuat la Iaşi, unde a urmat cursurile Şcolii Militare de Geniu, pe care a absolvit-o în anul 1918, cu gradul de sublocotenent.

După armistiţiu se întoarce la Bucureşti, unde urmează cursurile Şcolii de Poduri şi Şosele, devenită în 1920, Şcoala Politehnică.

Practica din anii studenţiei i-a prilejuit primele voiaje în străinătate. Astfel, în iulie - septembrie 1919, făcând practică pe vaporul "Dacia", a călătorit pe ruta Constanţa - Napoli - Marsilia. În decembrie 1921 a făcut practica de maşini electrice la firma Marelli din Italia.

În anul 1922 absolvă Şcoala, obţinând diploma de inginer electromecanic, cu menţiunea "Foarte bine" şi este angajat la Societatea "Electrica" unde, între anii 1922 - 1926, s-a ocupat de proiectarea şi întreţinerea de instalaţii de distribuţie de energie electrică, de joasă tensiune.

În anul 1923 este trimis al Societăţii "Electrica" la Viena, într-o călătorie de studii.

Între anii 1924 - 1926, a funcţionat şi ca asistent asociat la Politehnica din Bucuresti, la catedra de Electrotehnică.

În aprilie 1926 a plecat în Franţa, în călătorie de studii. La Paris, în 1926, s-a căsătorit cu inginer Christiana Petrescu, ai cărei părinţi au fost: profesorul *Ion Petrescu* şi *Françoise Drevon*, de origine franceză.

Au urmat cursurile împreună, în anul 1927, , şi au luat parte la lucrările de laborator ale Şcolii Superioare de Electricitate din Paris.

În aprilie 1928 *Christiana* şi *Alexandru Th. Popescu* se întorc în ţară.

În august 1928 reintră în Politehnica din Bucureşti ca asistent la catedra de Electrotehnică, fiind totodată însărcinat cu lucrările de organizare a Laboratorului de Electrotehnică pentru Încercări Industriale şi numit sub-şef al acestui laborator, în postul de inginer în corpul tehnic ataşat.

La inaugurarea, în anul 1938, a Laboratorului Electrotehnic de Încercări Industriale, inginerul *Alexandru Th. Popescu* este decorat cu "Coroana României", gradul de cavaler.

Până în 1949, deci timp de 21 de ani, a funcţionat neîntrerupt în aceasta dublă calitate: membru al corpului didactic şi inginer sub-şef şi apoi inginer şef al laboratorului de Electrotehnică pentru încercări industriale şi cercetări, pe care l-a înfiinţat şi l-a organizat.

A contribuit la funcţionarea armonioasă a întregului ansamblu de laboratoare de electrotehnică, ocupându-se şi de reorganizarea labora-

toarelor didactice de măsurări electrice şi magnetice, maşini electrice, electricitate şi electrotehnică.

Între anii 1928 - 1940 a avut gradul didactic de asistent universitar; apoi, în anul universitar 1940 - 1941, a fost şef de lucrări; între 1942 - 1948 a funcţionat în calitate de conferenţiar, iar în anul 1948, a devenit profesor, fiind numit şef al catedrei de Măsuri şi aparate electrice.

În intervalul 1940 - 1948, a ţinut studenţilor prelegeri privind "Încercările de măsuri şi maşini electrice", "Încercări de înaltă tensiune", "Încercări oscilografice" precum şi cursurile de "Electrotehnică" (Chestiuni speciale) şi de "Iluminat electric".

Din anul 1949 a devenit titularul cursului de "Măsuri electrice şi magnetice", pe care l-a predat până la pensionarea sa, la 30 septembrie 1967.

Profesorul *Alexandru Th. Popescu* a fost trimis de Ministerul Educaţiei şi Învăţământului în schimburi de experienţă la Institutul Energetic din Moscova, Institutul Politehnic din Leningrad (1963), la Institutul Politehnic din Stockholm (1965).

Prin decretul nr.604/26.VI.1967, Consiliul de Stat a conferit titlul de ***profesor emerit*** profesorului **Alexandru Th. Popescu**, pentru activitate îndelungată şi merite deosebite, precum şi pentru contribuţia adusă la dezvoltarea învăţământului superior.

S-a stins din viaţă la 18 iunie 1974, în plină activitate de organizare a laboratoarelor în noul local al Institutului Politehnic Bucureşti.

## PROFESORUL ALEXANDRU TH. POPESCU - PRECURSOR AL DOCUMENTĂRII ŞTIINŢIFICE ROMÂNEŞTI

În anul 1945 apărea la Bucureşti, sub egida Institutului Român de Energie, având aprobarea Federaţiei Internaţionale de Documentare, F.I.D., din Haga, lucrarea "Clasificarea zecimală universală pentru electrotehnică şi domeniile înrudite", ai cărei autori sunt *Christiana* şi *Alexandru Th. Popescu*.

În prefaţa cărţii, profesorul *Constantin D. Buşilă*, fondator şi preşedinte al Institutului Român de Energie, scria: "Sistemul foarte comod pe care se bazează clasificarea zecimală, pusă la dispoziţia intelectualilor de mai multe decenii, pentru universalitatea cunoştinţelor omeneşti, permite a se merge foarte departe cu gruparea materialelor pe specialităţi. Volumul de faţă constituie dezvoltarea destul de adâncită a clasificării zecimale pentru electrotehnică şi pentru domeniile înrudite.

Această lucrare, constituind o îndelungată muncă inteligentă şi ordonată, este prezentată de autori în capitolul "Consideraţii preliminare", care formează un fel de introducere în materie, după care urmează expunerea principiilor acestui sistem de clasificare, ilustrate prin numeroase exemple practice.

Publicaţia mai comportă şi un studiu critic, în care se face o instructivă analiză a modului cum a fost aplicată clasificarea zecimală în domeniul electrotehnicii în ţările europene, subliniindu-se erorile ce s-au comis şi învăţămintele care se degajă din constatările făcute.

Prin acest studiu, publicaţia aduce şi o importantă contribuţie de ordin general bibliografic, care credem că va fi apreciată cum se cuvine şi de cercurile bibliografice internaţionale, pentru informarea cărora serveşte deocamdată un dezvoltat rezumat în limba franceză"

În introducerea lucrării, *Christiana* şi *Alexandru Th. Popescu* menţionează: "Publicaţia de faţă nu este o lucrare izolată, ci se integrează în programul de activitate bibliografică pe care autorii îl urmăresc de ani de zile la laboratorul de Electrotehnică al Politehnicii din Bucureşti, în scopul de a contribui într-o cât mai eficientă măsură la rezolvarea uneia din cele mai importante probleme care se pun în general pentru lumea tehnică de la noi şi, în particular, pentru electrotehnicieni, şi anume: organizarea mijloacelor de documentare bibliografică în domeniul electrotehnicii, capabile să satisfacă multiplele nevoi de informaţie tehnică şi ştiinţifică a cercetătorilor noştri.

În cadrul acestui program, autorii au pus bazele, în anul 1931, la susnumitul Laborator, unui Oficiu de Documentare, organizând o bibliotecă specială de periodice, conţinând actualmente un număr însemnat de colecţii ale celor mai de seamă publicaţii de electrotehnică străine, precum şi un fişier de documente conţinând circa 120 000 rezumate de pe articolele revistelor străine, furnizate de suplimentele bibliografice ale unora

dintre aceste reviste şi care, împreună, constituie un preţios material documentar, graţie căruia orice chestiune de electrotehnică teoretică sau practică poate fi studiată şi dusă la bun sfârşit".

O *anevoioasă* muncă, pe care numai oameni dăruiţi cu pasiunea studiului o puteau îndeplini; o *migăloasă* muncă, pe care numai oameni înzestraţi cu spirit de ordine şi meticulozitate o puteau îndeplini; o *dificilă* muncă, pe care numai oameni buni cunoscători ai limbilor de circulaţie internaţională o puteau îndeplini; o muncă fără *aparentă strălucire*, pe care numai oameni de nobilă modestie o puteau îndeplini. Un timp care ar fi fost preţios pentru cercetările proprii, a fost oferit cu generozitate celor mulţi de ieri, de azi şi de mâine.

## DASCĂLUL

În activitatea didactică şi ştiintifică, profesorul **Alexandru Th. Popescu** a dovedit calităţi remarcabile: entuziasm şi perseverenţă, disciplină autoimpusă, strădanie permanentă de autoperfecţionare, spirit fin de observaţie, minuţioasă atenţie la detaliile tehnicilor de laborator şi ale evaluării logice a rezultatelor.

Lecţiile sale, bine sistematizate, clare şi concise, au prezentat unitar problemele fundamentale ale unui domeniu deosebit de vast: ştiinţa măsurării mărimilor electrice şi neelectrice. Dăruirea sa era totală, ştia să capteze atenţia auditoriului. Studenţii simţeau că dascălul îşi iubeşte profesiunea cu pasiune şi îi urmăreau lecţiile cu o deosebită atenţie, răspunzând devotamentului său faţă de şcoală prin admiraţie şi stimă.

Lucrările de laborator, de înalt nivel, pe care le-a elaborat, constituie şi astăzi suportul de bază pe care s-a dezvoltat şi modernizat disciplina de Măsurări electrice.

Când am avut neasemuita şansă şi privilegiu de a-i fi asistentă, am aflat că aidoma unui mare actor, care vine la teatru cu cel puţin o oră înainte de spectacol, spre a se putea reculege şi concentra asupra rolului său, profesorul, în biroul său, singur, fără a permite accesul nimănui, îşi repeta cursul, îşi pregătea planul dispunerii pe tablă a figurilor şi formulelor, deşi era la al patruzecelea an de predare.

Avea nevoie de linişte, de singurătate şi concentrare pentru a veni în faţa studenţilor cu o lecţie impecabilă, predată într-un ritm alert; personalitatea sa strălucită făcea din fiecare lecţie o amintire de neuitat.

La examene, era preocupat de acordarea unei note cât mai corecte studentului. Binecunoscuta şi apreciata sa exigenţă era întotdeauna îmbinată cu bunătatea omului, înţelegător faţă de necazurile şi greutăţile unora dintre studenţii săi.

S-a implicat activ în viaţa universitară; a fost 18 ani şef de catedră, membru al Consiliului Profesoral şi al Senatului; opiniile profesorului *Alexandru Th. Popescu* totdeauna judicios şi elegant argumentate, impuneau prin respectul faţă de corectitudine în relaţiile interumane prin cultivarea valorilor reale.

*"Alergând, alergând, mai adâncă-i mereu*
*urma-n pământ a piciorului meu*
*Până când, până când*
*în tâmple şi în frunte mi se-nfingeau sunând*
*întâmplări, amintiri, amintiri, întâmplări,*
*speranţe şi vise, veniri şi plecări".*

În această "alergare spre moarte", prin care definea Dante în "Purgatoriu" viaţa, trebuie să compensăm absenţa celor cărora le-am stat vremelnic alături, înainte de plecarea lor, prin amintire.

Memoria este oglinda în care îi privim pe cei absenţi. Memoria este galeria în care sunt expuse tablourile chipurilor şi întâmplărilor din viaţa noastră; suită de "tablouri dintr-o expoziţie", analoage celor din viziunea pianistică a lui Modest Musorgski, orchestrată de Maurice Ravel. Organizatorul expoziţiei tablourilor vieţii noastre este însuşi destinul; el scrie partitura pentru pian; orchestraţia însă, mai mult sau mai puţin reuşită, ne aparţine.

În expoziţia de tablouri a vieţii mele este un chip de mare noblete şi distincţie, care iradiază lumină: profesorul meu cel mai drag, căruia am avut neasemuita şansă de a-i fi asistentă, profesorul drag al multor generaţii de electrotehnicieni şi energeticieni: **ALEXANDRU TH. POPESCU.**

Fie-mi îngăduit să-i aduc omagiul meu modest de aleasă preţuire şi recunoştinţă, pentru viaţa pe care şi-a dedicat-o şcolii, pentru darurile de preţ pe care le-a făcut generaţiilor de ingineri de ieri, de azi şi de mâine: laboratorul de Măsurări electrice şi biblioteca ce-i poartă, pentru neştearsă amintire, numele.

Prof.dr.ing.*Carmen Golovanov*

INFORMAȚII

# Al 6-lea Simpozion Național de Metrologie București, 16-17 septembrie 1997

Așa cum a fost anunțat în numărul precedent al revistei, Simpozionul Național de Metrologie, inițiat în 1981 ca un ciclu trienal de întâlniri ale specialiștilor din diferite domenii de activitate, interesați în progresul teoriei și tehnicii măsurărilor, a ajuns la cea de a 6-a ediție, care s-a desfășurat în zilele de 16 și 17 septembrie 1997, în Sala Palatului din București. Simpozionul a fost organizat de Institutul Național de Metrologie, cu sprijinul Biroului Român de Metrologie Legală și al Ministerului Cercetării și Tehnologiei și cu contribuția facultății de Electrotehnică a Universității Politehnica din București, precum și a unui mare număr de de universități, institute de cercetare-dezvoltare, instituții publice și firme din domeniul aparaturii de măsurare.

Lucrările simpozionului au fost deschise de dr. ing. Aurel MILLEA, directorul Institutului Național de Metrologie. În continuare, au rostit alocuțiuni: ing. Ștefan OCNEANU, director general al Biroului Român de Metrologie Legală; dr. ing. Nicolae VASILE, director general al ICPE, reprezentant al Ministerului Cercetării și Tehnologiei; prof. dr. ing. Constantin ILIESCU, UPB facultatea Electrotehnică; dr. ec. Mircea MARTIȘ, director al Institutului Român de Standardizare; prof. dr. ing. Ion HOHAN, președinte al RELAR; ing. Șerban NICOLAE, șef al Compartimentului de Metrologie al FEA, București; ing. Vasile ȚIGĂNAȘ, director general al Registrului Auto Român.

În ședința plenară a simpozionului au fost prezentate următoarele referate:

M. KOCHSIEK, A. ODIN *(Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germania):* Promovarea calității printr-o infrastructură metrologică eficientă

A. ODIN *(Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germania):* Sistem de management al calității pentru un institut metrologic de stat

A. MILLEA *(Institutul Național de Metrologie, București):* Trasabilitatea măsurărilor, o cerință esențială a sistemelor moderne de asigurare a calității

D. DINU *(Biroul Român de Metrologie Legală):* Normele și standardele privind mijloacele de măsurare, între cerințele domeniului reglementat legislativ și cele voluntare ale operatorilor economici

Ed. W. B. de LEER *(Netherlands Measurement Institute, Delft, Olanda):* Metrologia gazelor în Olanda și pe plan mondial

Th. HOFFMAN (*Standaras Institute of Israel*) sistemul de acreditare a laboratoareleor de încercare și etalonare

L. POPESCU *(Laboratorul de Analize STEROM, Câmpina):* Proiectarea și implementarea unui sistem de asigurare a calității ISO 9002/EN 45001/ISO-CEI 25 pentru laboratoare industriale de metrologie

În cele 8 sesiuni ale simpozionului au fost prezentate 87 comunicări, de către autori de la 25 de instituții. În continuare este dată o listă selectivă a lucrărilor prezentate.

## 1 Sesiunea METROLOGIE GENERALĂ, SISTEME DE MĂSURARE

D. TULVAN *(S.C. Optica S.A., Timișoara):* Controlul statistic al calității

N. STANCIU *(S.C. ROMAN S.A., Brașov):* Metrologia industrială: locul și rolul în structurile economiei de piață

M. VASILE *(RENEL - FCNE Cernavodă):* Organizarea laboratoarelor de metrologie din cadrul CN Cernavodă și funcționarea în regim de asigurare a calității conform standardelor ISO seria 9000 și Manualului de Asigurare a Calității aprobat de CNCAN

T. MESAROȘ-ANGHEL, M. SEICA *(S.C. AEM S.A., Timișoara):* Tehnici statistice aplicate în verificarea contoarelor electrice fabricate la S.C. AEM S.A., Timișoara

E. POPA, E. BORDESCU *(Institutul Național de Metrologie, București):* Sistem automat de intercomparare a elementelor normale

C. VLAICU, S. D. GRIGORESCU *(Universitatea Politehnica București, facultatea Electrotehnică):* Sistem de supraveghere și

achiziție de date bazat pe calculator personal pentru transformatoare de putere mare

B. PANTELIMON, D. OANCEA *(Universitatea Politehnica Bucureşti, facultatea Electrotehnică):* Utilizarea portului paralel în achiziția de date

B. PANTELIMON , V. SIMION, A. MURARIU *(Universitatea Politehnica Bucureşti, facultatea Electrotehnică):* Sistem de măsurare digital pentru stabilirea performanțelor generatoarelor de abur la centralele nucleare-electrice

M.A. CHIȚĂ *(Universitatea din Piteşti),* C. ILIESCU, B. PANTELIMON *(Universitatea "Politehnica" Bucureşti):* Sistem de măsurare a presiunii cu senzor integrat, cu interfață paralelă şi calculator personal

C. N. PRIPOAE *(Institutul Național de Metrologie, Bucureşti):* Pachet software de analiză spectrală şi prelucrare numerică a secvențelor de date aleatoare

## 2 Sesiunea MĂSURĂRI DIMENSIONALE , TIMP-FRECVENȚĂ

D. BOICIUC *(Institutul Național de Metrologie, Bucureşti):* Etalonarea interferențială a calelor plan paralele mari

D. BOICIUC, R. CRAMARESCU, E. DUGHEANU *(Institutul Național de Metrologie, Bucureşti):* Metode de măsurare interferențială a lungimilor mari

A. DUȚĂ *(Institutul Național de Metrologie):* Trasabilitatea în măsurarea unghiului plan

A. NICULESCU *(Institutul Național de Metrologie, Bucureşti):* Accesul la Scara Internațională de Timp prin intermediul Scării de Timp GPS

## 3 Sesiunea MĂSURĂRI ÎN DOMENIUL RADIAȚIILOR IONIZANTE

A. DRUKER, C. DUMITRESCU, V. MĂXINOIU, T. URSACHE *(Institutul Național de Metrologie, Bucureşti):* Aspecte de metrologie legală în domeniul aparaturii utilizate în radioprotecție

M. SAHAGIA, E.L. GRIGORESCU, A. LUCA, A.C. RAZDOLESCU, C. IVAN *(Institutul de Fizică şi Inginerie Nucleară "Horia Hulubei", Bucureşti):* Participarea IFIN-HH la o comparare internațională de radioactivitate a mediului

Cs. ROTH, D. DOBREA *(Institutul de cercetări nucleare, Piteşti):* Măsurarea fluxului neutronic termic în domeniul 10...1000 n/cm$^2$s prin metoda activării

I. OPREA, M. OPREA, V. CERGA, M. STOICA, V. PÎRVU, E. BADEA *(Institutul de Cercetări Nucleare, Piteşti):* Aspecte metrologice privind echipamentele integrate moderne de protecție la radiații

## 4 Sesiunea MĂSURAREA MĂRIMILOR MECANICE

N. FÂNTÂNARU, I. POPA *(Institutul Național de Metrologie, Timişoara):* Influența condițiilor de mediu şi a supraîncărcării la celule de măsurat sarcini

V. PETRESCU, I. SANDU *(Institutul Național de Metrologie, Bucureşti):* Asigurarea trasabilității etaloanelor de presiune relativă pe intervalul (1 ... 350) MPa la etalonul național de presiune

P. G. IORDĂCHESCU, N. MOISOI *(Institutul Național de Metrologie, Bucureşti):* Determinarea coeficientului de temperatură la manometrele etalon cu element elastic

G. Fl. POPA *(Institutul Național de Metrologie, Bucureşti):* Aspecte noi de metrologie legală privind aparatele de cântărit în România

G. Fl. POPA *(Institutul Național de Metrologie, Bucureşti):* Metode de determinare a masei de referință a fiecărei osii la verificarea instalațiilor de cântărire în mers a autovehiculelor

H. CHIRIAC, M. TUPILATU *(Institutul național de cercetare-dezvoltare pentru fizică tehnică, Iaşi):* Aspecte privind proiectarea traductoarelor rezistive pe bază de straturi subțiri pentru măsurări diferențiale de presiune

D. M. ŞTEFĂNESCU *(Institutul Național de Cercetări Aerospațiale "Elie Carafoli", Bucureşti):* Aspecte privind verificarea metrologică a instrumentației de la Sufleria Trisonică din INCAS, București

C. I. URSACHE, M. GROZA *(Institutul Național de Metrologie Bucureşti):* Realizarea unui simulator de doză tensometrică în curent continuu, etalon de lucru necesar la încercările şi verificările indicatoarelor numerice de masă

A.POPESCU, M. I. VASILE *(Institutul Național de Metrologie, Bucureşti):* Contribuții referitoare la etalonarea microfoanelor condensator de laborator

**5 Sesiunea METROLOGIA FLUIDELOR**

Fl. CREŢU *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Verificarea calculatoarelor de debit şi energie termică

P. DÂRVARIU *("General Fluid" S.A., Bucureşti):* "Thermguard GF"- o unealtă pentru mileniul următor

P. DÂRVARIU *("General Fluid" S.A., Bucureşti):* Măsurarea la consumator a energiei termice risipite pentru încălzirea apei de adaos din circuitele primare de distribuţie a energiei termice

P. DÂRVARIU *("General Fluid" S.A., Bucureşti):* Fenomenul de "submăsurare" la contoarele mecanice de apă - o realitate cu efecte ce pot fi prevenite

P. DÂRVARIU *("General Fluid" S.A., Bucureşti):* Contorizarea apei şi energiei termice în România între necesitate şi posibilitate

P. DÂRVARIU *("General Fluid" S.A., Bucureşti):* Standul de verificări metrologice *Meinecke-General Fluid* , instrument modern de supraveghere metrologică şi de expertizare tehnică

B. PANTELIMON, I. TOMA *(Universitatea Politehnica Bucureşti, facultatea Electrotehnică):* Unele realizări în domeniul informatizării sistemelor de măsurare

D. BIDIAN, M. ANTONOAIE *(Universitatea "Transilvania", Braşov):* Dependenţa semnalului unui debitmetru electromagnetic unilateral, cu circuit magnetic de închidere, de frecvenţa tensiunii de alimentare

**6 Sesiunea MĂSURAREA MĂRIMILOR ELECTRICE**

R. SOVIANY *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Instalaţie etalon pentru măsurarea tensiunilor mici în curent alternativ

W. SZABO, Fl. SANDU, M. ROMANCA *(Facultatea de Electrotehnică, Universitatea "Transilvania", Braşov):* Realizarea unui sistem de achiziţie şi procesare digitală a semnalelor pentru măsurarea puterilor

Fl. SANDU, W. SZABO, M. ROMANCA *(Facultatea de Electrotehnică, Universitatea "Transilvania", Braşov):* Varmetru pentru frecvenţe industriale implementat cu FPGA

I.D. OLTEAN, E. HELEREA *(Universitatea "Transilvania", Braşov):* Metode de determinare a permeabilităţii magnetice de impuls

E. POP *(Universitatea Tehnică, Timişoara),* Şt. MARINCA *(Universitatea de Nord, Baia Mare):* O nouă posibilitate de compensare electrică a transformatoarelor de curent

Şt.MARINCA (Universitatea de Nord, Baia Mare), Liviu POPESCU *(Institutul Naţional de metrologie, Bucureşti):* Transformator de tip cleşte pentru măsurări în circuite de înaltă tensiune

Şt.MARINCA *(Universitatea de Nord, Baia Mare):* O posibilitate de măsurare a puterii reactive

Şt. MARINCA *(Universitatea de Nord, Baia Mare):* Posibilităţi de evaluare a erorilor transformatoarelor tip cleşte cu metoda elementului finit

M. BUTNARU, I. ODOR *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Încercări de model pentru totalizatoare de energie electrică

M. BUTNARU, S. NICULESCU, I. ODOR, L. POPESCU *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Problematica încercărilor în vederea obţinerii aprobării de model pentru contoare de energie electrică

E. BUZAC, L. CÎRNEANU, L. DRAGOMIR, I. ODOR, G. POPOVICI, M. RIZEA *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Utilizarea calibratorului multifuncţional FLUKE 5720A şi trasabilitatea multimetrelor digitale la acest etalon

M. BUTNARU, I. ODOR , M. RIZEA *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Metodă de verificare metrologică a aparatelor digitale portabile, destinate măsurării componentelor armonice ale curentului şi tensiunii în reţelele de energie electrică

M. BRĂNESCU, I. NICOLAE, G. ALDICA *(Institutul Naţional de Fizica Materialelor, Măgurele):* Lanţ de măsurare pentru susceptibilităţi diamagnetice mici într-un domeniu mare de magnetizare

E. BORDESCU, E. POPA *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti),* C. DRAGOMIR *(Intercontrol S.A.):* Metodă pentru măsurarea cu precizie ridicată a rezistoarelor de valoare mică şi algoritmi pentru minimizarea influenţei componentei deterministe a erorii de măsurare

**7 Sesiunea MĂSURAREA MĂRIMILOR TERMICE ŞI OPTICE**

C. NICULESCU, S. GAIŢĂ *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Realizarea punctului triplu al apei la INM. Rezultatele unei comparări internaţionale

H. CHIRIAC, M. LOZOVAN, F. RUSU, M. URSE *(Institutul naţional de cercetare-*

*dezvoltare pentru fizică tehnică, Iaşi):* Dispozitiv şi metodă de măsurare a temperaturii

H. CHIRIAC, F. RUSU, M. URSE, M. LOZOVAN *(Institutul naţional de cercetare-dezvoltare pentru fizică tehnică, Iaşi):* Sistem de testare a termocuplurilor cu straturi subţiri

Fl. ANGHEL, C. ILIESCU, B. PANTELIMON *(Universitatea Politehnica Bucureşti, facultatea Electrotehnică):* Analiza proprietăţilor spectrale ale senzorilor cu fibre optice folosind fenomenul de fluorescenţă

M. STANCIU, C. ILIESCU, B. PANTELIMON *(Universitatea Politehnica Bucureşti), Adina STANCIU (Institutul Oncologic Bucureşti):* Modelarea şi simularea funcţionării senzorilor de pH cu fibre optice

M. ION *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Calibrator pentru termorezistenţe din platină folosite în contoarele de energie termică

M. SCOCIOREANU, E. CIOCÂRLAN *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Materiale de referinţă în stare solidă pentru putere calorifică

M. SIMIONESCU, A. SEUCAN *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Metrologia mărimilor optice la INM. Prezent şi tendinţe

**8 Sesiunea MĂSURĂRI ÎN CHIMIE, PROTECŢIA MEDIULUI, MEDICINĂ**

M. BUZOIANU *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Trasabilitatea măsurărilor analitice

St. DUŢĂ *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Exemple concrete de aplicabilitate a materialelor de referinţă în metrologia legală

P. KÖNIG-GEORGESCU, N. IONIŢĂ, S. ANGHEL *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Trasabilitatea măsurărilor gazanalitice

D. STOENESCU,I. HIRCAN, D. ŞTEFĂNESCU, I. ŞTEFĂNESCU *(Institutul Naţional de Cercetare-Dezvoltare pentru Tehnologii Criogenice şi Izotopice, Rm.Vâlcea):* Utilizarea spectrofotometrului MAGNA-IR 750 în măsurări de apă grea

A. GABURĂ, M. CHIRUŢĂ, M. SLĂNINĂ *(ICPE-Trafil, Iaşi):* Utilizarea metodelor capacitive pentru monitorizarea parametrilor suspensiilor poluante

V. GIUHAT, A. CEACÂR *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Metrologia aparaturii medicale în România

V. GIUHAT, A. CEACÂR, Monica ION *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Metode şi proceduri de etalonare şi verificare a electroencefalografelor asistate de calculator

V. GIUHAT, A. CEACÂR *(Institutul Naţional de Metrologie, Bucureşti):* Metode şi proceduri de verificare a electrocardiografelor asistate de calculator

Simpozionul propriu-zis a fost completat cu lucrările unei mese rotunde întitulate "Probleme metrologice ale calculatoarelor de debit şi ale sistemelor de măsurare a cantităţilor de fluide (apă, abur, gaz, petrol) şi a energiei termice", care a avut loc în ziua de 18 septembrie 1997.

Actuala ediţie a simpozionului s-a bucurat şi de o împrejurare care a făcut-o mai atractivă, şi anume desfăşurarea sa în paralel cu expoziţia de aparatură de măsurare AMCOR'97, ceea ce a constituit un foarte bun prilej pentru contacte directe între specialişti din cercetare, învăţământ, industrie şi comerţ.

## Curs "Calculul incertitudinii în metrologie" în cadrul Programului Phare PRAQIII

În zilele de 10-13 noiembrie 1997 a avut loc la Bucureşti cursul "Calculul incertitudinii în metrologie", în cadrul Programului Phare PRAQIII, asigurat de un consorţiu al *NMI Van Swinden Laboratorium* (Olanda), *Danish Institute of Fundamental Metrology* (Danemarca) şi *Waldus Consultancy for Training Projects* (Olanda), sub egida Comisiei Europene. Cursul a cuprins lecţii teoretice, exerciţii, studii de caz, întrebări şi răspunsuri, conduse de doi experţi universitari din Olanda, foşti angajaţi ai *NMI Van Swinden Laboratorium* (Laboratorul Naţional de Etaloane al Olandei). Au participat 25 de cursanţi de la Institutul Naţional de Metrologie, Biroul Român de Metrologie Legală, firme din domeniul aparatelor de măsurat, laboratoare de metrologie.

Desfăşurat la Sala Palatului din Bucureşti, cursul a beneficiat de o foarte bună organizare şi de excelente mijloace audio-vizuale, inclusiv traducere sincronă pe întreaga durată. Participanţii

au primit materiale complete în limba română, acoperind conținutul părții teoretice, la care s-au adăugat aplicații din domenii diferite ale metrologiei.

Materialul predat a fost împărțit pe șapte module:

- Trasabilitate (trasabilitate internațională, calitate, acceptare în UE)
- Măsurări și incertitudine (introducere, definiții, certitudine de măsurare, rezultate numerice, cifre semnificative)
- Procese statistice (metode de calcul în statistică, medie, abatere standard, repartiții, performanțe practice ale metodelor, prelucrarea datelor)
- Diagrame de trasabilitate (lanțuri de trasabilitate, raport de incertitudini, întocmirea diagramelor de trasabilitate, exemple)
- Surse ale incertitudinii (identificarea surselor de incertitudine în măsurări, exemple în cazurile unor sisteme de măsurare)- Calculul incertitudinii de măsurare (structura unui sistem de măsurare, modelul procesului de măsurare, cazul etalonărilor, propagarea incertitudinii standard, evaluarea de tip A și evaluarea de tip B, incertitudine extinsă, exemple) - Ajustarea curbelor (regresii, metoda celor de mai mici pătrate, analiza tendinței)

Cele mai multe module au fost completate cu probleme dedicate, unele la propunerea participanților, cu exemple rezolvate în grupuri și prezentate apoi individual.

Exemplele de aplicare a procedeelor de evaluare și exprimare a incertitudinii de măsurare au fost preluate din Ghidul ISO (GUM) și din recomandarea EAL-R2, completate cu altele elaborate la DIFM.

## A 32-a reuniune a Comitetului Internațional de Metrologie Legală

În zilele de 29-31 octombrie 1997 a avut loc, la Rio de Janeiro, a 32-a reuniune a Comitetului Internațional de Metrologie Legală (CIML), organizată de *Institutul Brazilian de Metrologie, Standarde și Calitate* (INMETRO).

Reuniunea a fost precedată de o ședință a Consiliului de Dezvoltare al OIML, de un seminar organizat de INMETRO cu tema "Dezvoltarea metrologiei în lume", de reuniunea organizației regionale de metrologie *Sistema Interamericano de Metrologia* (SIM) și de o vizită la laboratoarele INMETRO.

Consiliul de Dezvoltare are ca preocupare de bază totalitatea activităților de dezvoltare ale OIML, punând accent pe necesitățile țări or în curs de dezvoltare. La ședința consiliului au fost trecute în revistă subiecte ca sprijinul tehnic și financiar care ar putea fi acordat acestor țări, sistemul de certificate OIML, activități de formare profesională, publicații, colaborări cu alte organizații.

Seminarul INMETRO a cuprins mai multe expuneri prezentate de experți cunoscuți din lume, ca *M. Kochsiek, W. Schulz* și *H. Apel* (PTB Germania), *B. Athané* (director al BIML), *J. Birch* (NSC Australia), *S. Bennett* (NWML M. Britanie), *J.F. Magana* (SdM Franța), *M.N. Frota* și *R.B. Figueiredo* (IAAC Brazilia). Expunerile s-au referit la armonizarea regională a metrologiei în Europa, directiva CE privind aparatele de măsurat, sistemul de certificate OIML, activitățile organizațiilor regionale de metrologie APLMF (Asia-Pacific Legal Metrology Forum), WELMEC (European Legal Metrology Cooperation), SIM (Sistema Interamericano de Metrologia), acreditarea și metrologia legală.

Reuniunea CIML a fost deschisă prin alocuțiunile dlor *O.L. Fernandez*, secretar pentru Tehnologia Industrială la Ministerul Industriei și Comerțului din Brazilia, *J.C.C. Bueno*, președinte al INMETRO și *J. Faber*, președinte al CIML.

S-a luat notă de primirea în OIML ca state membre a Estoniei și Argentinei.

Un interes deosebit a stârnit prezentarea studiului dlui *K. Birkeland*, fostul președinte al CIML, întitulat "Condițiile și potențialul metrologiei legale în zorii secolului al 21-lea". În stadiul său actual, studiul relevă unele perspective importante ale metrologiei legale în viitorul apropiat, dar și slăbiciuni și dificultăți, pentru a căror prevenire sunt necesare schimbări în politica pe termen mediu și lung a OIML. Printre altele, se atrage atenția asupra oportunității elaborării unei noi legi-model de metrologie în special pentru țările în curs de dezvoltare, clarificării rolului acreditării în metrologia legală, armonizării reglementărilor naționale cu cele regionale și cu cele internaționale, etc.

Raportul dlui *S. Chappell* (SUA) asupra activităților legate de acreditare și de stabilirea încrederii reciproce în cadrul metrologiei legale a dat naștere la discuții și comentarii, care în general au confirmat utilitatea preocupărilor în aceste direcții și au încurajat continuarea lor.

S-a discutat necesitatea revizuirii programului OIML de elaborare a recomandărilor tehnice și de redefinire a priorităților, în special în ce privește domeniul contoarelor de diferite tipuri

(de apă, gaz, energie termică, energie electrică). În particular, la propunerea Germaniei, s-a aprobat ca Recomandarea R 46 privind contoarele electrice să fie retrasă, datorită divergenţelor faţă de standardele internaţionale relevante ale CEI, urmând ca ea să fie reelaborată cât mai curând posibil. S-a căzut de acord de asemenea să fie reactivată preocuparea OIML pentru verificarea metrologică prin eşantionare statistică.

Au fost aprobate, în general cu doar câteva abţineri sau voturi negative, următoarele cinci proiecte de recomandări:

- Aparate pentru măsurarea masei lichidelor în rezervoare
- Nivelmetre automate în rezervoarele fixe (revizuirea R 85)
- Etilometre
- Aparate pentru măsurarea emisiilor eşapamentului vehiculelor (revizuirea R 99)
- Dispozitive şi sisteme de măsurare dinamică pentru lichide criogenice (revizuirea R 81)

S-a prezentat un raport asupra situaţiei actuale a Sistemului de Certificate OIML, relevându-se necesitatea ca firmele constructoare şi alţi factori interesaţi să fie mai bine informaţi asupra Sistemului şi asupra avantajelor care rezultă din aplicarea sa, în deosebi în domeniul aparatelor nereglementate. S-a hotărât revizuirea documentului care stabileşte funcţionarea Sistemului, pe baza experienţei celor cinci ani de aplicare a sa, şi adăugarea la lista categoriilor de aparate incluse în Sistem a nivelmetrelor automate şi a etilometrelor, de îndată ce recomandările referitoare la acestea vor fi publicate.

În legătură cu relaţiile dintre OIML şi alte organizaţii internaţionale şi regionale, preşedintele *Faber* a prezentat un raport asupra ultimei reuniuni mixte BIPM/OIML din februarie 1997, cu participarea ILAC. Au fost prezentate de asemenea informaţii despre înfiinţarea Comitetului Mixt pentru Ghiduri în Metrologie (JCGM), ca succesor al grupului de lucru ISO/TAG 4. Transferarea acestei activităţi de cooperare a celor şapte instituţii internaţionale interesate (BIPM, CEI, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML) la noul comitet de lucru independent JCGM s-a făcut pentru a o separa de preocupările interne de natură metrologică ale ISO. Obiectivul principal al JCGM este de a dezvolta şi a menţine, la nivel internaţional, documente cu caracter de ghid referitoare la necesităţile metrologice ale ştiinţei şi tehnologiei şi, în particular, a aduce la zi periodic "Vocabularul Internaţional de Termeni Fundamentali şi Generali în Metrologie" (VIM) şi "Ghidul de Exprimare a Incertitudinii în Măsurări" (GUM).

CIML a fost informat asupra pregătirii unui seminar internaţional întitulat "Rolul metrologiei în dezvoltarea economică şi socială", prin cooperarea a trei organizaţii internaţionale de metrologie - BIPM, OIML şi IMEKO (în special prin comitetul tehnic TC 11) - şi a instituţiei naţionale de metrologie a Germaniei, PTB. Seminarul va avea loc în perioada 15-19 iunie 1998 şi va fi organizat de PTB, Braunschweig, cu sprijinul financiar al BMZ (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung).

A fost numit un nou director adjunct al BIML, în persoana drei *Nathalie Dupuis-Désormeaux* (Canada), care îşi va începe activitatea în anul 1998.

Într-un raport al BIML a fost reafirmat rolul esenţial pe care îl are Buletinul OIML ca mijloc de legătură şi de informare între membrii OIML, precum şi toţi cei interesaţi de activităţile de metrologie legală. CIML a făcut un apel membrilor OIML pentru o participare mai activă la Buletin, prin articole tehnice şi informaţii de interes. S-a prezentat de asemenea un raport al Biroului asupra posibilităţilor de a face disponibile prin Internet informaţii în legătură cu OIML; s-a discutat şi formarea unui grup de lucru pentru a pune la punct transmiterea prin Internet a Recomandărilor şi a Documentelor OIML.

Următoarea reuniune a CIML va avea loc în Republica Coreea, în octombrie 1998.

## Al 8-lea Congres Internaţional de Metrologie Besançon, 20-23 octombrie 1997

Congresul Internaţional de Metrologie este organizat la fiecare doi ani de către *Mişcarea Franceză pentru Calitate*, în colaborare cu *Biroul Naţional de Metrologie* al Franţei. Faţă de ediţia precedentă (Nîmes, 1995) s-a remarcat o creştere cu 30% a numărului de participanţi din industrie, învăţământ, cercetare şi administraţie. Ediţia "MÉTROLOGIE'97" s-a bucurat de înaltul patronaj al Directoratului pentru Ştiinţă, Cercetare şi Dezvoltare al Comunităţii Europene, încurajând schimbul de experienţă dintre specialiştii din întreaga lume, cu accent pe evoluţia metrologiei la nivelul întreprinderilor. La organizarea congresului a contribuit de asemenea OFMET

(Oficiul Național de Metrologie din Elvația). Au fost prezenți 417 participanți, dintre care o cincime din străinătate (26 țări).

Congresul a cuprins 13 sesiuni de prezentare orală şi 3 sesiuni de postere în domeniile clasice ale metrologiei, precum şi 4 mese rotunde cu temele:

- formarea şi perfecționarea metrologilor;
- standarde, măsurări şi încercări;
- etalonarea automată a aparaturii;
- organizații metrologice naționale.

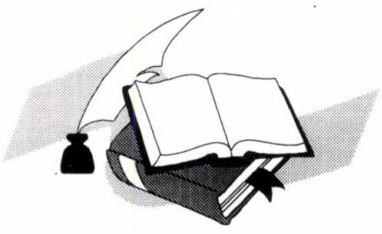
În paralel s-a desfăşurat o amplă expoziție de instrumentație şi servicii metrologice, cu 43 expozanți (de două ori mai mulți decât la ediția anterioară). Dintre aceştia pot fi citate firmele: AÉROSPATIALE; DELTA TECHNOLOGIES; FLUKE; LEICA; MB ÉLECTRONIQUE; MÉTROQUAL; MITUTOYO; RENISHAW; SARTORIUS; SIP GENČVE; TAYLOR HOBSON, precum şi instituții de învățământ ca ÉCOLE DES MINES DE DOUAI şi LYCÉE JULES RICHARD, organizații naționale sau regionale ca BUREAU NATIONAL DE MÉTROLOGIE, COMITÉ FRANÇAIS D'ACCRÉDITATION, INSTITUT MÉDITERRANÉEN DE LA QUALITÉ.

Au fost organizate mai multe vizite tehnice sub deviza *Metrologie şi Calitate*, la obiective de interes din zonă (uzinele de automobile PEUGEOT din Sochaux, combinatul chimic TAVAUX al concernului SOLVAY, fabrica de motoare electrice GEC ALSTHOM din Ornans, observatorul astronomic din Besançon, etc.).

Volumul final al congresului, editat în condiții grafice excelente (662 pagini), conține 120 lucrări. Au putut fi remarcate câteva comunicări din domeniul metrologiei generale, ca: "Metodă simplificată de determinare a incertitudinii de măsurare într-un mediu de producție comercială" (*I. Instone*, Hewlett-Packard Ltd, U.K.), "Convergența dintre norma IS0 5725 şi ghidul GUM" (*Ch. Perruchet*, UTAC, France), "Exemple de estimare a incertitudinii de măsurare" (*B. Schatz*, METROQUAL, Franța), "Eficiența etalonării tip *Artifact* în cazul unui calibrator multifuncțional" (*J. Korthout*, Fluke, Olanda), "Viitorul unității de masă, piste posibile" (*M.E. Himbert, P. Pinot*, BNM-INM, Franța), "Metrologie, economie şi calitate" (*J.C. Krynicki*, Hewlett-Packard, Franța), precum şi numeroase comunicări din domenii variate ale metrologiei mărimi dimensionale, mecanice, electrice, termice, optice, chimice, etc.).

La congres au fost prezentate două lucrări de către autori din România: "Procedură de verificare metrologică a traductoarelor de presiune de la sufleria trisonică din Bucureşti" (*D. M. Ştefănescu*, INCAS, Bucureşti) şi "Materiale de referință certificate în măsurările spectrofotometrice. Incertitudinea de măsurare în acest domeniu" (*S. Duță, M. Buzoianu*, INM, Bucureşti). În volumul congresului figurează şi comunicarea întitulată "Influența găuririi neperpendiculare în măsurarea tensiunilor reziduale cu ajutorul rozetei tensometrice" *(M. Bârsănescu, A. Ignătoaie*, Univ. Tehnică "Gh. Asachi", Iaşi).

ORSZÁGOS MŰSZAKI KÖZPONT ÉS KÖNYVTÁR 1883



## *EDITURA TEHNICĂ*

*semnalează apariția următoarelor lucrări:*

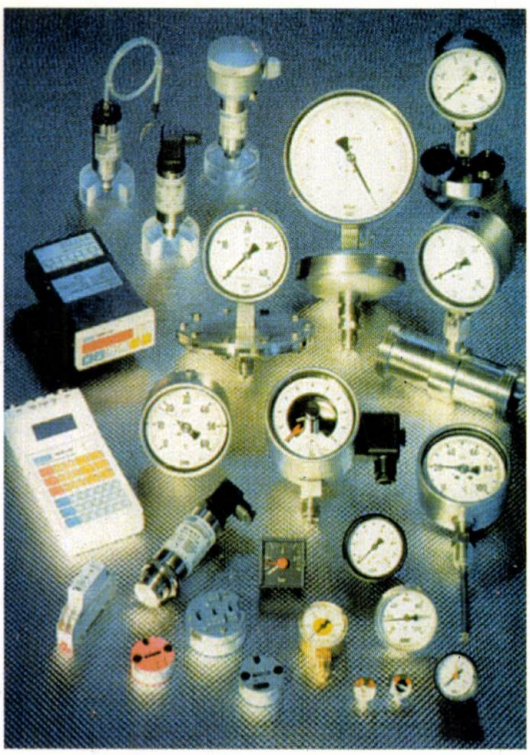
| | |
|---|---|
| ALAN COOPER<br>**Proiectarea interfețelor. Utilizator** | 50000 lei |
| IOAN DORE LANDAU<br>**Identificarea și comanda sistemelor** | 23500 lei |
| ION MARGHESCU Ş.A.<br>**Comunicații mobile terestre** | 16700 lei |
| ADELAIDA MATEESCU Ş.A.<br>**Prelucrarea numerică a semnalelor** | 29000 lei |
| PAUL GRAY Ş.A.<br>**Circuite integrate analogice. Analiză și proiectare** | 41500 lei |
| ION IONESCU Ş.A.<br>**Propietățile și tehnologia betoanelor** | 39000 lei |
| THOMAS PAULAY Ş.A.<br>**Proiectarea structurilor de beton armat la acțiuni seismice** | 33000 lei |
| V. DIANU, V.GHEORGHIU<br>**Fundații de adâncime în condiții de teren dificil** Vol. I | 16000 lei |
| CORNELIU BERBENTE Ş.A.<br>**Metode numerice** | 18500 lei |
| IOAN RUSU<br>**Metode numerice în electronică. Aplicații în limbaj C** | 20000 lei |

Pentru comenzi vă puteți adresa Serviciului Conercial - Librărie/Depozit al EDITURII TEHNICE din str. Oteteleşanu nr. 1, Tel. 613.98.43; Tel./fax: 315.88.66

# WIKA

## Pressure and Temperature Measurement

### The Single & The Best Source



presiune + temperatură

- Manometre cea mai largă paletă
- Aparate electronice de măsurare a presiunii
- Separatoare de mediu
- Termometre industriale
- Măsurarea electronică a temperaturii
- Instalații de etalonare fixe și portabile pentru presiune și temperatură

**WIKA Messgerätevertrieb**
**Ursula Wiegand GesmbH & Co.**
**Perfektastraße 83, 1235 Wien, Austria**
**Tel.: 0043 1 8 69 16 31, Fax: 0043 1 8 69 16 34**
**e-mai: info@wika.at**

**WIKA - ROMÂNIA**
**Reprezentată prin *D'aMiKo***
**Birou: București, str. Brașov nr. 22, bl. Z 132,**
**sc. A, ap. 3, sector 6, 77373**
**Tel./Fax: 01.312.99.40, tel.: 01.746.10.66**

...aparatură de la

WIKA